الجغرافيا الطبيعية

أشكال سطح الأرض

دكتور
عبد العزيز طريح شرف
جامعة الإمام محمد بن سعود
المملكة العربية السعودية



مؤسسة الثقافة الجامعية
٤٠ ش سوتير - الإسكندرية
تليفون : ٣٩٢٢٤

الجغرافيا الطبيعية

أشكال سطح الأرض

دكتور
عبد العزيز طريح شرف

مؤسسة الثقافة الجامعية
ت ٢٥٩٢٢٤١

الفهرس

الباب الثالث

الباب الرابع

العوامل التكتونيه التى تساهم فى تشكيل سطح الارض

الباب الخامس

العوامل الخارجية التى تساهم فى تشكيل سطح الارض

الباب السادس

الأشكال التضاريسية الكبرى لسطح اليابس

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

إن الجغرافيا الطبيعية بمعناها العام موضوع واسع له صلات كثيرة بالعلوم الطبيعية الأخرى من ناحية وبالعلوم الإنسانية من ناحية أخرى، فهو على صلة قوية بعلوم الجيولوجيا والميترولوجيا والهيدرولوجيا والنبات والحيوان والفلك والطبيعة. ولما كان التقدم العلمي قد فرض على كل علم من هذه العلوم أن يقسم نفسه إلى فروع أصغر فقد كان على الجغرافيا الطبيعية بالتالي أن تعيد تقييم علاقاتها بهذه الفروع على أساس مقدار ما تأخذه منها أو ما تقدمه لها، وهكذا تشعبت مسئولياتها وازدادت تفاصيل الموضوعات التي يجب عليها أن توضحها وتطورها حتى لا تتخلف عن غيرها من العلوم.

وهكذا لم يعد من الميسور أن تعالج الجغرافيا الطبيعية كلها في كتاب واحد بالمستوى الذي يتمشى مع التقدم الذي طرأ على فروعها المختلفة، ولذلك فإن الجغرافيين الذين يكتبون لمن هم فوق مستوى التعليم المدرسي العام في مختلف بلاد العالم قد بدأوا يميلون إلى التخصص في الكتابة فيها حتى لا يحرم طلابها من التفاصيل الأساسية التي يصعب إدخالها في المؤلفات العامة. وقد ظهر هذا الاتجاه واضحا في عالمنا العربي حيث قام عدد من تلاميذي وزملائي الأفاضل بوضع عدد غير قليل من المؤلفات القيمة في الجيومورفولوجيا وأشكال التضاريس، كما قمت من جانبي بوضع كتاب في « الجغرافيا المناخية والنباتية » وهو الكتاب الذي يشرفني انه أصبح معروفا لطلاب الجغرافيا في كل الجامعات العربية تقريبا.

وقد كانت جودة الكتب العربية التي ظهرت في موضوعات الجيومورفولوجيا وأشكال التضاريس سببا في أنني ترددت حتى الآن في الكتابة في نفس

الموضوعات ، ولكنى أدركت أخيرا أن هذه الموضوعات مازالت محتاجه إلى المزيد من التنقيح والإضافة . وإنى أرجو أن يكون الكتاب الذى أقدمه الآن محققا لبعض ما أهدف إليه .

والله ولى التوفيق ،،

عبد العزيز طريح شرف

سبتمبر ١٩٩٣

الباب الأول

الفصل الاول – فئات الاجرام السماوية .

الفصل الثانى – النظام الشمسي .

الفصل الثالث – حركات القمر والأرض .

الفصل الرابع – أصل الأرض .

الفصل الخامس – أبعاد الكرة الأرضية وأغلفتها وطبيعة باطنها .

الفصل الأول

فئات الأجرام السماوية

تمهيد

يحتوي الكون بمعناه الواسع على بلايين الاجرام التي تتباين تباينا كبيرا في أحجامها وطبيعتها ، ومع ذلك فان كل واحد منها ، مهما صغر حجمه أو كبر ، يتحرك بنظام خاص به داخل النظام الكوني العام . ولكن على الرغم من التقدم الكبير في علوم الفلك والفضاء فان معلوماتنا عن الكون لا تمثل في الواقع إلا نسبة لا تستحق الذكر من أسراره التي مازالت خافية على العقل البشري ، فما هو مثلا اتساع هذا الكون ؟ وما هي حدوده ؟ وما هو عدد أجرامه ؟ إن هذه وغيرها أسئلة كثيرة بقيت وستظل دائما دون جواب . وعلى أساس ما هو متوفر الآن من معلومات يقسم الفلكيون الأجرام السماوية عموما إلى عدة فئات هي :

(١) المجرة Galaxy ومثيلاتها .

(٢) النجوم Stars ، (٣) الكواكب Planets ، (٤) الأقمار Moons ،

(٥) المذنبات Comets ، (٦) السدم Nebulae .

المجرة :

إن المجرة التي نعرفها والتي يتبعها نظامنا الشمسي ليست إلا واحدة من مجرات عديدة يشغل كل منها نطاقا عظيما من الكون . وتضم هذه المجرة أعدادا لا تحصى من النجوم والأقمار والمذنبات والسدم . ومجرتنا هذه هي التي تشتهر في البلاد العربية باسم « سكة التبانة » ، وفي العالم الغربي باسم « السكة اللبنية Milkey Way » [1] .

---

(١) السبب في تسمية العرب لها بسكة التبانة هو أنها تبدو وكأنها طريق يسلكه حمار التبن وهو ما يؤدي إلى بعثرة بعض منه على الطريق فيعطيه لونا مائلا إلى البياض ، أما الغربيون فيشبهونه بمسار سكبت عليه طبقة رقيقة من اللبن .

وهى ترى فى السماء تشكل نطاق ضخم من الضوء الخافت الذى يمتد عبر السماء كلها بحيث يمكن رؤيته فى أى مكان على سطح الارض . وليس هـذا الضوء الخافت إلا ملايين الأجرام السماوية المضيئة التى تبدو ، على الرغم من الأبعاد الشاسعة التى تفصلها عن بعضها ، وكأنها ملاصقة أو متجاورة جداً .

ونظراً لضخامة المسافات التى تفصل أجرام المجرة بعضها عن بعض فقد أصبح من المتعذر حسابها بواسطة وحدات القياس العادية،ولذلك فقد اتفق على أن تستخدم فى حسابها وحدة خاصة هى «السنة الضوئية Light Year» وهى المسافة التى يقطعها الضوء (وسرعته ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية) فى سنة كاملة ، وتستخدم بجانبها وحدة أخرى أصغر منهـا لقياس المسافات بين أفـــراد المجموعة الشمسية ، ويطلق عليهـــا « الوحـدة الفلكية Astronomical Unit » وهى متوسط المسافة بين الأرض والشمس وطولها ١٤٩ مليون كيلو متر (٩٣ مليون ميل) .

النجوم :

تعتبر النجوم بصفة عامة من الأجرام السماوية الكبيرة ، ولكنها تتباين فيما بينها تبايناً كبيراً سواء فى أحجامها أو فى طاقاتها الإشعاعية . فبينما لا يكاد حجم بعضها يزيد كثيراً من حجم الكواكب الكبيرة فان بعضها عظيم الضخامة وعلى الرغم من أنها جميعاً مكونة من مواد ملتهبة وتنبعث منهـا طاقة إشعاعية كبيرة إلا أن هذه الطاقة تختلف اختلافاً كبيراً من نجم إلى آخر . وتتوقف درجـة لمعانها فى السماء بصفة خاصة على الطاقة ولكنها تتأثر كذلك بدرجة بعدها عنا . وأكثر النجوم لمعاناً فى السماء هو النجم المسمى « الشعرى اليمانية Sirius » وهو نجم متلألىء . يبعد عنا بنحو ٨٫٦٥ سنة ضوئية،وتقدر طاقته الإشعاعية بما يعادل الطاقة الإشعاعية للشمس حوالى ٢٦ مرة . ولا يعرف حتى

الآن عدد نجوم السماء كلها ، أو حتى عدد نجوم مجرتنا وحدها إلا أن الفلكيين يقدرون عدد نجوم هذه المجرة بنحو ٣٠٠ مليون نجم .

وعلى الرغم من أن الشعرى اليمانية هي أشد النجوم (عدا الشمس) لمعانا في السماء فانها ليست أقرب النجوم إلى الأرض ، إذ أن هناك نجوما أخرى أقرب منها إلينا ، ومع ذلك فان إضاءتها أقل منها بكثير ، وأقرب نجم معروف حتى الآن إلى الأرض غير الشمس هو « الاقرب القنطوري Proima Centaur الذي يرى في نصف الكرة الجنوبي وهو أحد نجوم كوكبة قنطورس . ومن هنا جاءت تسميته بالقنطوري . ويبلغ بعد هذا النجم من الارض حوالي ٤ر٢٧ سنة ضوئية ، أقل من نصف بعد الشعرى اليمانيه عنها ، ومع ذلك فان الضوء الذي تبعثه الشعرى اليمانية إلى الارض يعادله الضوء الذي يبعثه هـذا النجم ٧٠ ألف مرة . وهـذا هو السبب في أن اكتشافه لم يتم إلا منـذ عهد قريب وهناك غير الاقرب القنطوري خمسة نجوم أخرى أقرب إلى الارض من الشعرى اليمانية ولكنها لا تبدو بنفس لمعانها ووضوحها لأنها أقل منها إضاءة .

تجمعات النجوم : وتوجد النجوم أحيانا منفردة ولكنها كثيرا ما توجد في مجموعات تشتهر باسم « الكوكبات Constellations » . ويتبع كل نجم من النجوم في الغالب عدد من الكواكب والاقمار . وتعتبر شمسنا ، ورغم ضخامتها ، واحـدة من النجوم الصغيرة نسبيا . وهنـاك ملايين من النجوم الاخرى الاكبر منها . وعلى الرغم من ابتكار المناظر فلكية تستطيع أن تتوغل في الفضاء إلى أبعاد شاسعة فان أقوى هذه المناظر لم تستطع حتى الآن أن تظهر أي نجم من النجوم (غير الشمس) بأكثر من نقطة محدودة من الضوء بسبب الابعاد الشاسعة التي تفصلها عنا .

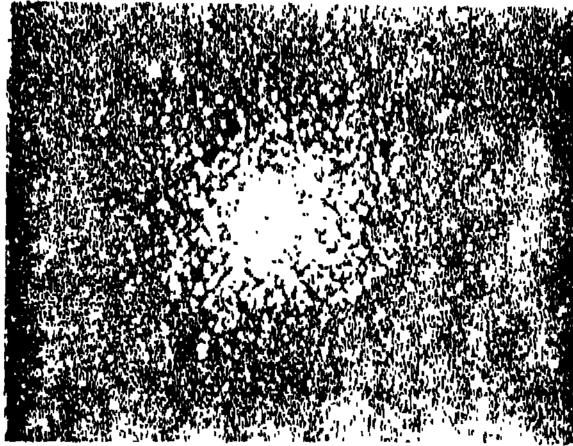
وقد كانت كثير من النجوم ومجموعاتها معروفة بين المهتمين بدراسة الفلك منذ زمن طويل ، فقد كان الفلكيون العرب في العصور الوسطى يرصدونها

ويعرفون كثيرا من الحقائق عن حركاتها وعن مواقعها بالنسبة للأرض فى الفصول المختلفة، واليوم يرجع الفضل فى اكتشاف عدد من النجوم ومجموعاتها. ومازالت الأسماء العربية التى أطلقوها عليها ظاهرة فى كثير من اللغات الأخرى. وقد وضع بعض الفلكيين العرب جداول فلكية خاصة لها قيمة علمية كبيرة فى تحديد مسارات النجوم والكواكب ومواعيد شروقها وغروبها على مدار السنة. وفى عهد اليونانيين القدماء كان لبعض المجموعات النجمية أهمية خاصة فى أساطيرهم ومعتقداتهم الدينية مثل مجموعة الفارس (أو الجبار) Orion، وذات الكرسى Cassiopeia، وذات الشعور Coma Berenices، والمرأة المسلسلة Andromeda والبيادس Pleiades والدب الأكبر والدب الأصغر وبرساوس والتنين والزرافة وغيرها. وقد لوحظ أن أفراد كل مجموعة من هذه المجموعات متشابهة فى تركيبها وأنها تتحرك دائما بترتيب ثابت، ولذلك فإن الفلكيين يطلقون عليها اسم الكوكبات (أو التشكيلات) المتحركة Moving Clusters. وهناك أيضا مجموعات نجمية تعرف باسم الجموع الكروية Globular Clusters، وتضم كل منها عدة ملايين من النجوم التى تبدو متكدسة فى الوسط ثم تتباعد نحو الخارج بحيث تبدو المجموعة كلها وكأنها سرب من النحل. ويوجد فى الكون أكثر من مائة تجمع من هذا النوع، وكلها بعيدة جدا عن الأرض بحيث يصعب تمييزها بالعين المجردة. ويبلغ بعد أقربها إلينا ١٨٠٠٠ سنة ضوئية[1].

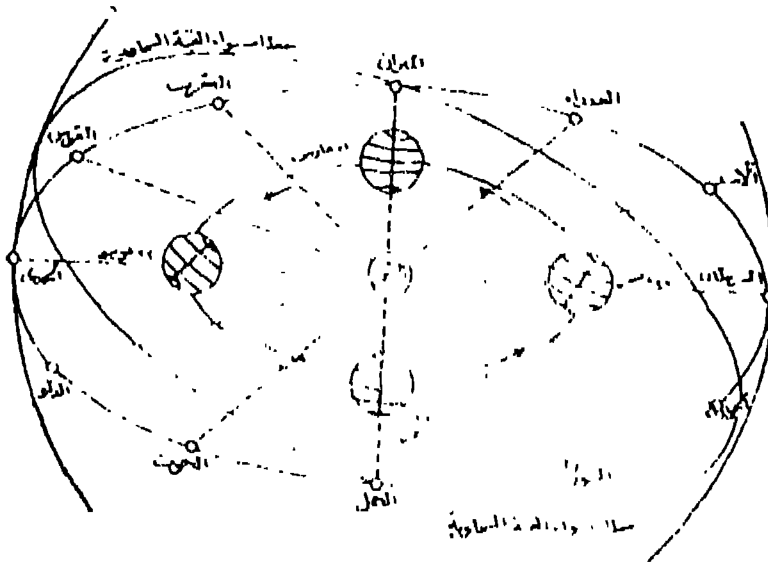
ويطلق تعبير «البروج» على الكوكبات التى تمر بها الشمس أثناء مسارها الظاهرى فى السماء على مدار السنة. ويطلق على هذا المسار اسم «دائرة البروج» بسبب مروره بكل هذه الكوكبات. وتوصف دائرة البروج بتعبير آخر بأنها هى تقاطع مستوى فلك الأرض حول الشمس مع الكرة السماوية.

---

(١) محمد عبد السلام الكردانى : «النجوم فى مسالكها» سنة ١٩٢٣ ص ١١٣.



شكل (١) تجمع نجمي كروي



شكل (٢) مواقع البروج على دائرة البروج في الفصول المختلفة

ويطلق تعبير « منطقة البروج » على كل المنطقة الواقعة على طول هذه الدائرة . وتنقسم هذه المنطقة إلى ١٢ برجا يشغل كل برج منها ٣٠ درجة من درجات الطول ، وهذه البروج وفصول ظهورها هي : الحمل والثور والجوزاء (التوءمان) وتظهر في الربيع ، ثم السرطان والأسد (الليث) والسنبلة وتظهر في الصيف ، ثم الميزان والعقرب والقوس وتظهر في الخريف ، ثم الجدي والدلو والحوت وتظهر في الشتاء (أنظر شكل ٢) [1] .

النجم القطبي (او القطبية) (Polar Star (or Polaris : هو أحد نجوم المجموعة المعروفة باسم « الدب الأصغر » . وهي كوكبة من سبعة نجوم تظهر دائما في الليالي الصافية من الجهة الشمالية من القبة السماوية ، وهي مرتبة بحيث تظهر أربعة منها بشكل مستطيل ولكنه ضيق قليلا في أحد جوانبه ، ومن أحد ركني هذا الجانب تتوزع النجوم الثلاثة الأخرى على طول خط مقوس وآخرها على الخط هو « النجم القطبي أو القطبية » . وهذه النجوم السبعة ومعها نجوم أخرى لا حصر لها بالقرب منها هي التي تتكون منها كوكبة « الدب الأصغر » . وقد سميت بذلك لأنها تأخذ في مجموعها شكلا قريبا من شكل الدب ، حيث يمثل جسمه بالشكل المستطيل بينما يمثل ذيله بالخط الذي يقع النجم القطبي في طرفه .

وقد كانت للنجم القطبي منذ القدم أهمية كبيرة وخصوصا للمسافرين في البحار والصحاري حيث أنه كان مرشدهم الرئيسي إلى الاتجاه الشمالي، بسبب وقوعه على امتداد محور الأرض من القطب الشمالي . فلو فرضنا ان هذا المحور قد امتد في الفضاء بدون حدود فانه سيمر بنقطة لا تبعد عن هذا النجم إلا بدرجة واحدة تقريبا .

---

(١) ورد في أدب العالم العربي بيتان مشهوران جمعت فيهما أسماء البروج الاثنى عشرة كما يلي :

حمل الثور جوزة السرطان ورعى الليث سنبل الميزان
ورمى عقرب بقوس لجدي نزح الدلو بركة الحيتان

ولكن يجب أن نلاحظ مع ذلك أن اتجاه محور الأرض نحو النجم القطبي ليس ثابتا على مر العصور ، بل أنه يتغير من عصر إلى آخر ولكن ببطء شديد جدا ، فلقد أثبتت الدراسات الفلكية أنه كان في عهد قدماء المصريين ، أي منذ حوالي خمسة آلاف سنة ، لا يشير إلى هذا النجم ، بل كان يشير إلى نجم آخر هو الثعبان (الحية) في مجموعة التنين ، وأنه بعد خمسة آلاف سنة من الآن سيشير إلى نجم آخر من نجوم مجموعة « قيفاوس » ، أما سبب هذا التحول فيرجعه الفلكيون إلى الظاهرة المعروفة باسم « ظاهرة طواف القطب » . (أنظر شكل ٣) .

شكل (٣) طواف القطب

الحرف الأبجدي الموضوع بجوار كل نجم يدل على ترتيبه من حيث اللمعان في مجموعته

والمقصود «بطواف القطب» هو عدم ثبات النقطة التي يشير إليها قطب محور الأرض في السماء وتزحزح هذه النقطة بانتظام على محيط دائرة وهمية ولكنها معروفة . ويرى الفلكيون أن سبب هذا الطواف هو انبعاج الأرض قليلا عند خط الاستواء وتفرطحها عند القطبين ، حيث أن جذب الشمس للجزء المنبعج يكون أكبر قليلا من جذبها للأجزاء الباقية ، ويترتب على ذلك تغير بطىء جدا ولكنه مستمر في اتجاه المحور بحيث تتزحزح النقطة التي يشير إليها في السماء على مسار دائرى وقد تبين أن كل دورة كاملة على هذا المسار تستغرق ٢٥٨٠٠ سنة . ويجب ألا نخلط بين ظاهرة طواف القطب هذه وبين ظاهرة أخرى تعرف باسم ظاهرة «تمايل أو ترنح المحور» فظاهرة طواف القطب ناتج عن جاذبية الشمس ، وهى عبارة عن حركة معقدة وبطيئة جداً ، أما التمايل أو الترنح فهو حركة سريعة نسبيا ، وسببها هو جاذبية القمر . وهى شبيهة بحركة تمايل أو ترنح النحلة التي يلعب بها الأطفال عندما يديرونها بسرعة.

الكوكبات النجمية التي نرى دائما في نفس مواقعها : المقصود بهذه الكوكبات هو الكوكبات التي ليس لها شروق ولا غروب بالنسبة لنا ، لأنها تظهر دائما في نفس مواقعها تقريبا في كل ليلة على مدار السنة ما دامت السماء صافية ، وأهمها هى الدب الأصغر ، بما في ذلك النجم القطبي والكوكبات القريبة منه مثل الدب الأكبر وذات الكرسي وفرساوس والزرافة والتنين ، وهى تختلف عن كثير من الكوكبات الأخرى الأبعد منها مثل الجبار والكلب الأكبر والشجاع والأسد والجاثي والثعبان (الحية) والعقاب (النسر) والدجاجة (الحمة) والجدي والفرس الأعظم ، فهذه الكوكبات تشرق في الشرق وتعبر السماء حتى تغرب في الغروب ثم تختفي لتعود للظهور في الليلة التالية وهناك كوكبات أخرى تظهر في الشتاء وتختفي في الصيف أو العكس ، ويظهر ذلك بوضوح عندما نقارن خريطتي القبة السماوية لهذين الفصلين في نصف الكرة الشمالي مثلا .

المتغيرات القيفاوية Cepheid Variables على الرغم من أن معظم النجوم تتميز بقوة إشعاعية ثابتة ، فقد لاحظ الفلكيون منذ وقت طويل أن بعضها منها ، سواء في داخل المجرة أو خارجها ، لا تثبت على حال واحدة وأن قوتها الإشعاعية تتغير من وقت إلى آخر . ولكن بينما تحدث التغيرات في بعض النجوم بشكل دورات منتظمة يشتد الإشعاع في بعضها ويضعف في بعضها الآخر ، فإنها تحدث في بعضها الآخر بشكل غير منتظم . ومن أشهر النجوم التي لوحظ منذ زمن بعيد أن قوتها الإشعاعية تتغير بنظام دقيق النجم المعروف باسم « قيفاوس أو الملتهب Cepheus » وهذا هو السبب في تسمية هذا النوع من النجوم باسم « المتغيرات القيفاوية » . وقد ساعد التغير المنتظم لهذه النجوم على تحديد أبعادها في الفضاء بدرجة كبيرة من الدقة .

« والنجوم الجديدة Novaeu : وهي نجوم متفجرة ، فقد لاحظ الفلكيون أن بعض النجوم قد تتعرض للانفجار ، وأنها عندما تنفجر تنطلق منها طاقات إشعاعية غير عادية تعادل طاقاتها الإشعاعية الأصلية ملايين المرات . وقد يكون السبب في انفجار هذه النجوم هو حدوث أي تغيرات في تركيبها الداخلي فيترتب على ذلك حدوث حالة من عدم التوازن في داخلها مما يؤدي إلى تضخم النجم فجأة وانفجاره وانطلاق الطاقة الإشعاعية الهائلة منه . وليس معنى انفجار النجم بهذا الشكل هو نهايته بل إنه يعود للالتئام مرة أخرى بحيث يظهر وكأنه نجم جديد ، وبعض النجوم أكثر تعرضا للانفجار من غيرها ، ولذلك فإن انفجارها قد يتكرر أكثر من مرة (١) .

وتدل الأرصاد الفلكية على أن عدد النجوم التي أمكن رصد انفجاراتها بالفعل يبلغ في المتوسط ستة نجوم سنويا ولا يدخل في هذا العدد النجوم

James Jeans, " The Universe Around Us," C. U. P. 1969

(١) إمام إبراهيم أحمد ، « عالم الأفلاك » ١٩٦٢ ، المكتبة الثقافية ، صفحة ١٢٠ — ١٢١ .

التي انفجرت دون أن تلاحظ انفجاراتها بسبب بعد المسافة أو لأي أسباب أخرى ، ولا بد أنها كثيرة . ويمكننا أن نتصور ماذا يحدث للارض لو أن شمسنا انفجرت بهذا الشكل، إن هذا لو حدث فإنه سيؤدي بالتأكيد إلى احتراق الأرض ومعظم الكواكب السيارة القريبة من الشمس مع أقمارها في الحال .

تناقص الطاقة الاشعاعية للنجوم : يرى كثير من الفلكيين أيضا أن الطاقة الإشعاعية لكثير من النجوم تتناقص بمرور الزمن ، وأن الشمس ربما تكون واحدة من هذا النوع . والسبب المرجح لهذا التناقص هو أن الايدروجين الذي يدخل في تركيب هذه النجوم يتحول باستمرار إلى هيليوم، فاذا كانت نسبة الأيدروجين التي تدخل في تركيب النجم كبيرة كان تناقص إشعاعاته كبيرا ، والعكس صحيح والمعروف أن نسبة الأيدروجين الذى يدخل في تركيب الشمس صغيرا جداً، فلو كان هناك فعلا تناقص في طاقاتها الإشعاعية فانه تناقص بطيء جداً وإنه لن يؤثر بشكل محسوس على جو الأرض إلا بعد مرور عدة ملايين من السنين .

ثالثا - الكواكب والاقمار :

الكواكب هي الأجرام السماوية المعتمة التي تتبع النجوم ، وأهم ما يميزها عن النجوم أنها أصغر منها حجما بصفة عامة ، وأنها غير ملتهبة وغير مضيئة إضاءة ذاتية ، ولكنها تعكس الأشعة التي تسقط عليها من النجوم فتبدو لامعة في السماء ، ولولا سقوط هذه الأشعة عليها لما أمكن رؤيتها ، وأهم الكواكب بالنسبة لنا هي الكواكب التي تتبع النظام الشمسي، ولذلك فاننا سنتكلم عليها ضمن كلامنا على هذا النظام في الفصل التالي .

أما الأقمار فهي الاجرام التي تتبع الكواكب ، والتي تدور في أفلاك خاصة حولها وهي تشبه الكواكب في أنها أجسام معتمة وأنها لا ترى إلا إذا سقط ضوء النجوم عليها . ومن الطبيعي أن تكون الاقمار التابعة لأي كوكب من

الكواكب أصغر فى أحجامها منه . وسنشير إلى أقمار النظام الشمسي عندما نتكلم عليه .

رابعاً — المذنبات :

وهى من الأجرام الملتهبة التى تنبعث منها إشعاعات قوية ، فهى شبيهة بالنجوم من هذه الناحية ، ولكنها تختلف عنها من وجوه أخرى ، فهى فى الغالب أصغر منها حجماً ، كما أنها تنطلق فى الفضاء بسرعة هائلة وتكون أفلاكها لهذا السبب شديدة الاستطالة ولعل أبرز ما يميزها هو أذنابها التى قد يصل طولها إلى بضعة ملايين من الكيلومترات ، ويتكون الذنب عموماً من غازات ملتهبة ، إلا أن طوله واتجاهه قد يتغيران على حسب موقعه بالنسبة للنجم الذى يتبعه المذنب أو بالنسبة لأقرب نجم آخر إليه حيث أن ضغط ضوء النجم يعمل دائماً على دفع الغازات التى يتكون منها الذنب بعيداً عنه ، ولذلك فعندما يقترب أحد المذنبات من الشمس فإن ذنبه يكون ممتداً إلى الخلف منه ، وعندما يمر بها يدور حول نفسه بحيث تكون رأسه واقعة بين الذنب والشمس ، وعندما يبدأ فى الابتعاد يكون ذنبه ممتداً أمامه .

وتوجد فى الكون مذنبات عديدة ، ولكن المذنبات التى أمكن رصدها



شكل (٤) المذنب مورهاوس كما صور فى سنة ١٩٠٧ .

بالفعل وأمكن معرفة نظام حركتها قابلة . ويعرف كل مذنب منها باسم خاص هو غالبا اسم الشخص الذى اكتشفه . ومن أقدم المذنبات التى عرفت وأشهرها المذنب « هالى Haly » ويمكن مشاهدته من الارض مرة كل ٧٦ سنة، وهى المدة التى يستغرقها دورانه فى فلكه حول الشمس ومن الاحتمالات غير المستبعدة أن يقترب أحد المذنبات من الارض بدرجة تؤدى إلى ارتطامه بها ، كما حدث فعلا فى سنة ١٩٠٨ عندما سقط فى سيبريا مذنب صغير زنته حوالى مليون طن فحفر حفرة سعتها عدة كيلومترات وعمقها عدة أمتار . إلا أن مثل هذه الحوادث نادرة جداً .

خامسا — السدم :

وهى سحب كونية ضخمة تتكون من غازات أو جزيئات كونية دقيقة، ويوجد فى مجرتنا عدد كبير منها ، ومما يدل على ضخامتها أنه بينما لا تستطيع أقوى المناظر الفلكية أن تظهر أى نجم من النجوم (غير الشمس) إلا كنقطة مضيئة فإنها تستطيع أن تظهر السدم بشكل سحابات كبيرة . وقد أمكن بالفعل تصوير عدد منها ، على الرغم من أنها تبعد عنا بمئات الآلاف من السنين الضوئية .

وقد قسم الفلكيون السدم التى أمكن رصدها إلى ثلاثة أنواع هى : (١)

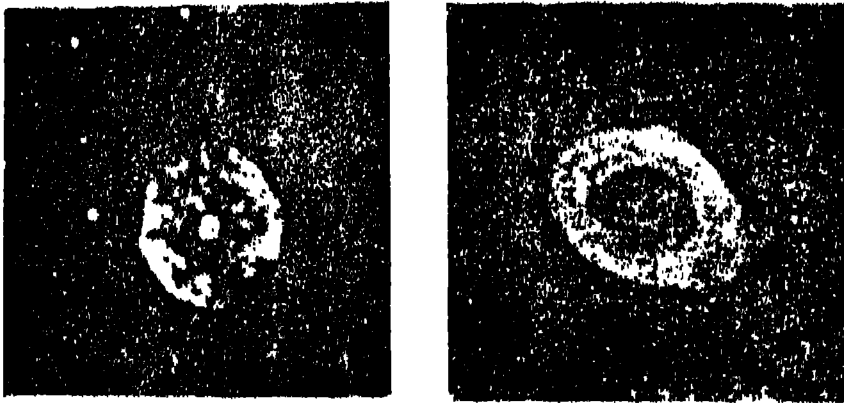
١) سدم كوكبية Planetary Nebulae ، وهى أقرب السدم إلينا ، وتوجد منها بضع مئات فى مجرتنا . ويقدر متوسط بعدها عن الارض بنحو ٥٠٠ سنة ضوئية . وتظهرها المناظر الفلكية القوية بشكل أقراص مستديرة ومن المحتمل أن تكون هذه السدم نجوما عادية ولكنها محاطة بأجواء مضيئة عظيمة الاتساع . ويقدر بعض الفلكيين أن كلا منها يعطى ضوءاً يعادل ضوء شمسنا حوالى عشر مرات (أنظر شكل ٥) .

٢) سدم مجرية Galactic Nebulae ، وهى موجودة أيضا داخل المجرة ، ولكنها تبدو بشكل سحب ضخمة ممتدة بين النجوم لمسافات شاسعة ، وليست لها أشكال أو حدود منتظمة ، والغالب أنها تحصر بداخلها عدداً من النجوم .

(١) James Jeans, Ibid. pp 22 — 25.

وتتباين هذه السدم فيما بينها تباينا كبيرا فى الكثافة والحجم ودرجة الاضاءة .

٣) سدم فوق المجرية Extra - galactic Nebulae ، وهى أعظم السدم حجما حتى أن بعض الفلكيين يعتبرونها (أو بعضها على الأقل) ضمن المجرات ، اى تحصر بداخلها ملايين النجوم ، ونظرا لضخامتها يمكن أن ترى بالعين المجردة على الرغم من أبعادها الشاسعة ، وهى تأخذ غالبا أشكالا خاصة تساعد على تمييزها ورصدها . وهذه السدم هى التى يطلق عليها كذلك اسم السدم الحلزونية Spiral Nebulae (أنظر الأشكال ٦ إلى ٩) .



شكل (٥) شكلان للسدم الكوكبية



شكل (٦) رأس الحصان في السديم الأعظم في كوكبة أوريون



شكل (٧) سديم حلزوني



شكل (٨) السديم الحلزونى الأعظم فى كوكبة أندروميدا (المرأة المسلسلة)

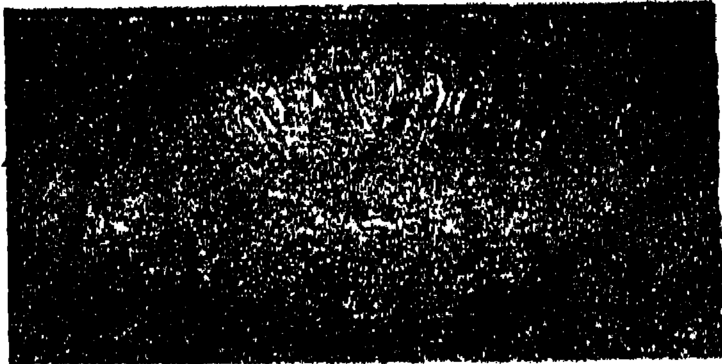


شكل (٩) السديم الأعظم فى كوكبة أوريون (الجبارة)

الشهب Meteors والنيازك Meteorites :

وهى ليست أجراما سماوية بمعنى الكلمة، وإنما هى كتل صخرية أو معدنية صلبة تندفع فى الفضاء نحو الأرض . ويؤدى احتكاكها الشديد بالهواء إلى التهابها وظهورها مضيئة ، فإذا كانت صغيرة فالغالب هو أنها تحترق قبل وصولها إلى الأرض ، وهذه هى التى تعرف بالشهب ، أما إن كانت كبيرة واستطاعت أن تصل إلى الأرض فإنها تعرف بالنيازك . وتكون قوة اندفاع النيزك كبيرة جداً، ولذلك فان ارتطامه بالأرض يؤدى عادة إلى تكوين حفرة عميقة ، وتوجد عدة أمثلة لحوادث سقوط النيازك فى جهات متفرقة من العالم ، فنى صحراء أريزونا مثلا استطاع أحد النيازك أن يحفر حفرة يبلغ قطرها كيلومترا وعمقها ٢٠٠ مترا ، بحيث تبدو وكأنها فوهة بركان . وقد قدر وزن النيزك الذى حفرها بنحو خمسة ملايين طن (شكل ١٠) .

ولئن كانت حوادث سقوط النيازك قليلة ومعروفة فمما لا شك فيه أن الشهب التى تحترق فى الجو لا يمكن حصرها ، خصوصا وأن كثيرا منها يحترق ويتلاشى دون أن يراه أحد . ويقدر الباحثون أن مقدار المواد التى تضيفها بقايا الشهب المتساقطة إلى جسم الأرض يقرب من عشرين ألف طن سنويا. وهذا معناه أن هناك زيادة مطردة ولكنها بطيئة فى حجم الأرض .



شكل (١٠) الحفرة التى حفرها أحد النيازك فى صحراء أريزونا

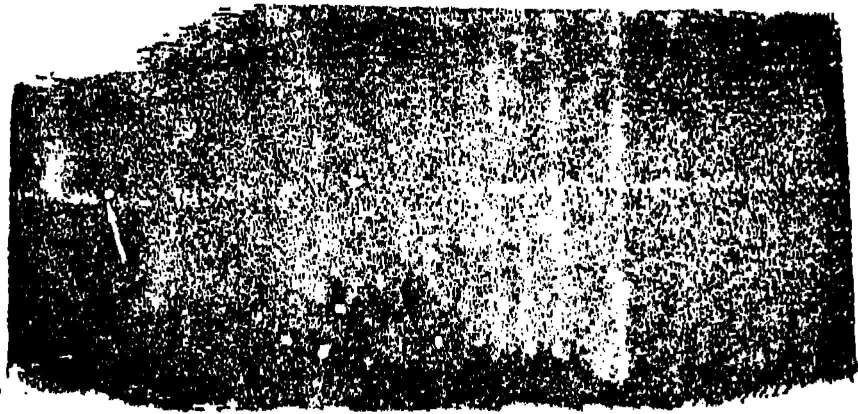
الفصل الثاني

النظـام الشمسى

SOLAR SYSTEM

الشمس :

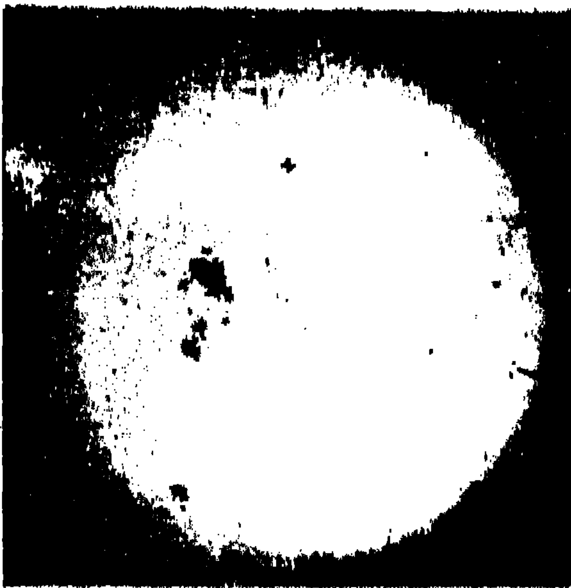
ليس النظام الشمسى إلا واحدا من مئات الملايين من النظام الشمسية التى تضمها المجرة (سكة التبانة) ، وهو يقع على بعد ثلاثين ألف سنة ضوئية من مركزها ، ويدور حوله هذا المركز دورة كاملة مرة كل ٢٢٥ مليون سنة . والشمس نفسها عبارة عن كرة ضخمة من المواد الملتهبة التى تنبعث منها طاقة إشعاعية هائلة تعادل حوالى ١٧٠ ألف حصان من كل متر مربع من سطحها . وتنطلق هـذه الطاقة فى جميع الاتجاهات بشكل إشعاعات متباينة بعضها مرئى مثل الأشعة الضوئية وبعضها غير مرئى مثل الأشعة الحرارية ، وتنتقل كلها فى موجات متباينة الأطوال فتصل إلى جميع الكواكب السيارة وأقمارها ، ولكن



شكل (١١) موقع النظام الشمسى فى المجرة (المشار إليه بالسهم)



شكل (١٢) نتوء شمسي



مصورة داخل الشمس



مكبرة نوعا ما

شكل (١٣) بقع شمسية

بمقادير تتناسب مع بعد كل منها عن الشمس . وتقدر درجة الحرارة على سطح الشمس بنحو ٦٠٠٠° مئوية ، بينما تزيد في مركزها عن مليون درجة ، وتنطلق من سطحها نافورات (أو ألسنة) ملتهبة تأخذ أشكالا متباينة ، وتعرف باسم « النتوءات Prominences » وقد يصل لهيب بعض هذه النتوءات في الفضاء إلى مسافات كبيرة تصل إلى عشرات الآلاف من الكيلومترات (أنظر شكل ١٢) .

وتستأثر الشمس وحدها بنحو ٩٩٫٨٧ ٪ من الحجم الكلي للمجموعة الشمسية ، ويبلغ طول قطرها حوالى ١٫٣٨٢٫٠٠٠ كيلومتر . وهو ما يعادل قطر الأرض مائة مرة ، وهذا هو السبب في قوة جاذبيتها التي تتحكم بها في حركة الكواكب التي تتبعها .

البقع الشمسية Sunspots : وهي عبارة عن مساحات صغيرة من سطح الشمس تقل حرارتها وإشعاعاتها بشكل واضح عن المناطق المحيطة بها . وليس من المعروف بالضبط السبب في وجود هذه البقع . ولكن من المعتقد أنها عبارة عن كتل غازية تتكون أحيانا في جو الشمس وتدور حول نفسها بسرعة ، ويكون بعضها كبيرا إلى درجة يمكن معها رؤيته من الأرض بالعين المجردة مع الاستعانة بمنظار ملون أو خلال السحب الرقيقة . وقد لوحظ أن هذه البقع تكثر في دورات طول كل منها أحد عشر سنة تقريبا . ونظرا لأنها تؤثر على الطاقة الإشعاعية للشمس فقد حاول بعض الباحثين أن يربطوا بين دوراتها وبين الدورات التي تمر بها بعض المظاهر الطبيعية والحيوية على الأرض (أنظر شكل ١٣) .

الكواكب السيارة Planets :

يضم النظام الشمسي تسعة كواكب سيارة أكبرها هو المشترى ، ويبلغ حجمه ضعف مجموع حجم باقي الكواكب . وأبعد الكواكب عن الشمس (كما هو معروف الآن) هو بلوتو ، أما أقربها إليها فهو عطارد الذي يعتبر كذلك أصغرها حجما . وتنقسم هذه الكواكب عموما على حسب بعدها عن الشمس إلى مجموعتين هما :

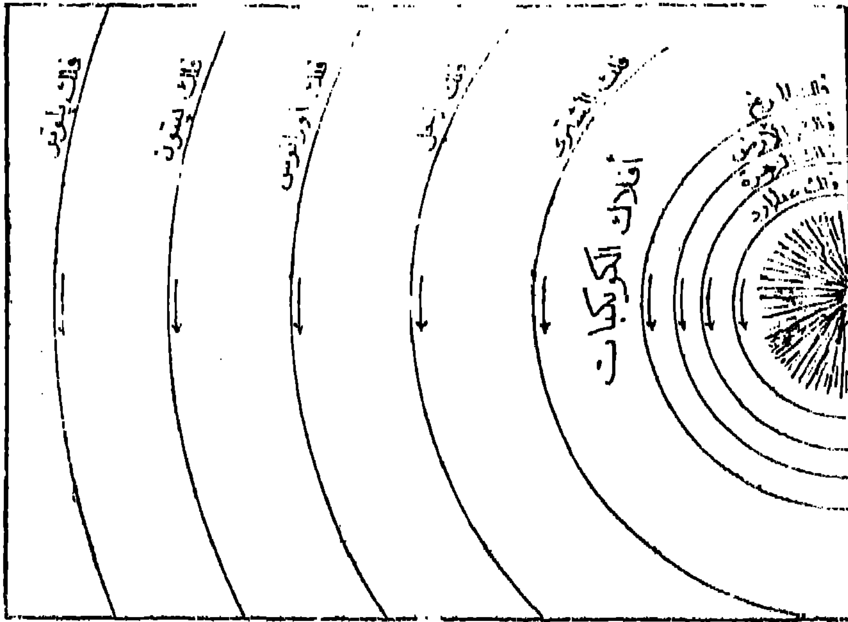
١) مجموعة الكواكب الداخلية Inner Planets (أو الصغيرة) وتشمل الكواكب الأربعة الأقرب إلى الشمس ، وهي عطارد والزهرة والأرض والمريخ . وهي متشابهة إلى حد كبير في الحجم والكثافة مما يدل على أنها مكونة من مواد صخرية متشابهة ، ولهذا السبب يطلق عليها أحيانا اسم «الكواكب الأرضية Terrestrial Planets» وهي أعلى كثافة من الكواكب الخارجية . ونظرا لقرب عطارد والمريخ والزهرة من الأرض فقد كانت معروفة منذ العهود التاريخية القديمة ، وكان لها على سبيل المثال مركز معروف في الميثولوجيا اليونانية القديمة . فقد كان اليونانيون في ذلك الوقت يعتبرون أن المريخ هو إله الحرب ، والزهرة هي إلهة الجمال وعطارد هو الخادم أو ساعي البريد الذي يقوم بنقل الرسائل بين الآلهة .

٢) مجموعة الكواكب الخارجية Outer Planets (أو الكبرى) وتشمل الكواكب الأبعد عن الشمس، وهي المشترى وزحل ونبتون وأورانس وبلوتو.

ويفصل هاتين المجموعتين عدد كبير من الكويكبات الصغيرة التي تتجمع في منطقة واحدة في مكان متوسط تقريبا بين فلكي المريخ والمشترى . ويطلق عليها اسم « الكويكبات » Asteroids .

وتدور كل الكواكب والكويكبات في أفلاك بيضاوية (إهليلجية) حول الشمس . وتقع جميع أفلاكها في مستوى واحد تقريبا . وهو نفس المستوى الذي تدور فيه الشمس دورتها الظاهرية بالنسبة للارض، وهو أيضا مستوى فلك الارض ويطلق عليه كذلك اسم مستوى الكسوف والخسوف "Plane of the Ecliptic" .

وتفصل الكواكب بعضها عن بعض أو عن الشمس مسافات كبيرة يمكن حسابها إما بملايين الكيلومترات أو الاميال أو بالوحدة المعروفة باسم الوحدة الفلكية . وقد سبقت الإشارة إليها، وهي متوسط البعد بين الارض والشمس



شكل (١٤) دوران الكواكب السيارة حول الشمس

وهو ١٤٩ مليون كيلو متر (٩٣ مليون ميل) . ويمكننا أن نتصور عظم المسافات التي تفصلنا مثلا عن الشمس وعن غيرها من أفراد العائلة الشمسية لو أننا عرفنا أن الطائرة النفاثة التي تسير بسرعة الصوت (١٢٠٠ كم / ساعة) تحتاج إلى ١٤ سنة كاملة للوصول من الارض إلى الشمس (دون عودة) ، ويبين الجدول (رقم ١) المسافات التي تفصل الكواكب السيارة عن الشمس وعن الارض .

الكواكب الداخلية :

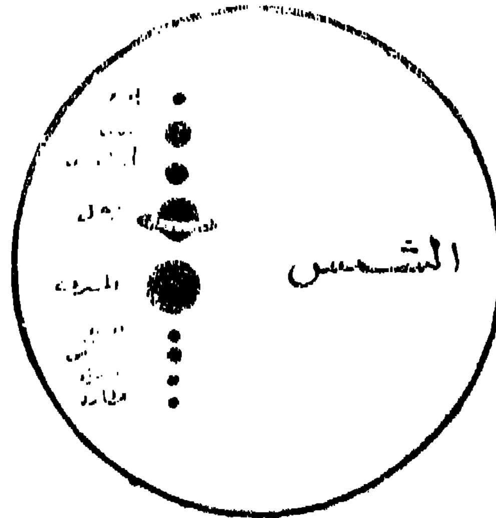
١ — عطارد Mercury ، هو أصغر الكواكب السيارة ، ويبلغ قطره حوالى ٤٨٠٠ كيلو متر ، كما أنه هو أقربها إلى الشمس حيث يبعد عنها بنحو ٥٧ مليون كيلومتر (٠ر٣٩ وحدة فلكية) ، ويتم دورته حولها فى ٨٨ يوما . أما

جدول (١) أبعاد الكواكب السيارة عن الشمس وعن الأرض
(معظم الأرقام مقربة إلى أقرب رقم صحيح)

الكوكب	بعده عن الشمس		بعده عن الارض	دورته حول الشمس	
	بالوحدات الفلكية	بملايين الكيلومترات	بملايين الكيلومترات	مدتها	سرعتها كم/ثانية
عطارد	٠ر٣٨	٥٧	٩٢	٨٨ يوما	٤٦
الزهرة	٠ر٧٢	١٠٨	٤١	٢٢٤ ٣/٤ يوم	٣٥
الارض	١ر—	١٤٩	—	٣٦٥ ١/٤ يوم	٢٩
المريخ	١ر٥٢	٢٢٨	٧٩	٦٨٧ يوم	٢٤
المشترى	٥ر٢	٧٧٨	٦٢٩	١١ر٩ سنة	١٣
زحل	٩ر٥٤	١٤٢٨	١٢٧٩	٢٩ر٥ سنة	١٠
أورانوس	١٩ر١٨	٢٨٧٢	٢٨٢٣	٨٢ سنة	٦
نبتون	٣٠ر٠٦	٤٥٠١	٤٤٥٢	١٦٥ سنة	٥ر٥
بلوتو	٥٩ر٥٢	٥٩٠٤	٥٧٥٥	٢٤٨ سنة	٥

دورته حول نفسه تستغرق ٩٠ يوما، فهى بطيئة جدا بالنسبة لدورة الارض حول نفسها. وكما هي الحال بالنسبة للقمر فإن أحد أوجه عطارد يكون دائما مواجها للشمس ويكون دائما نهارا بينما يكون وجهه الآخر دائما ليلا. ونظرا لقرب هذا الكوكب من الشمس فان درجة حرارة وجهه المقابل لها تكون دائما مرتفعة جدا خصوصا فى المنطقة الوسطى التى تسقط عليها الأشعة عمودية باستمرار، وفيها تزيد درجة الحرارة عن ٣٤٠° مئوية (٦٥٠° ف) وهى درجة تكفى لصهر بعض المعادن مثل الرصاص والصفيح. وبسبب هذه الظروف لا يمكن أن يوجد أي نوع من أنواع الحياة على هذا الكوكب.

٢ – **الزهرة** Venus : وهى أقرب الكواكب إلى الارض . ويبلغ البعد بين فلكيهما حوالى ٤١ مليون كيلو متر ، كما أن حجمها يكاد يقترب من حجم



شكل (١٥) حجم الكواكب بالنسبة إلى الشمس

الارض، وإن كان يقل عنه بنحو ٢٪ من حجم الارض . ويبلغ بعد الزهرة عن الشمس ١٠٨ر١ مليون كيلو متر (٧٢ر٠ وحدة فلكية) وتستغرق دورته حولها ٢٢٤ر٣ يوم . وهى أبطأ الكواكب فى دورانها حول نفسها حيث تستغرق دورتها ٢٤٣ يوما . وهى محاطة بغلاف غازى كثيف مكون بصفة خاصة من ثانى أوكسيد الكربون . وربما توجد معه كميات ضئيلة جدا من الاكسوجين والنيتروجين وبخار الماء . ويبدو جو الزهرة بشكل سحاب كثيف يحول دون رؤية جسمها الصلب من الارض . حتى أن اتجاه دورانها حول نفسها مازال غير مؤكد ، كما أن المدة التى يستغرقها هذا الدوران غير معروفة بالضبط . ولكن من المؤكد أن درجة حرارتها مرتفعة جدا ، وأنها تبلغ فى الجزء الذى يظهر لنا ، وهو الجزء الذى تكون أشعة الشمس عندئذ ساقطة عليه حوالى ٣٠٠° مئوية . ويظهر هذا الجزء بأوجه مختلفة تتتابع فى دورة معروفة تشبه الدورة التى تظهر بها أوجه القمر .

ونظرا لأن كوكبي عطارد والزهرة يقعان بين الارض والشمس وأن أفلاكهما جميعا تقع في مستوى واحد فاننا لا نرى منهما إلا السطح المواجه للشمس . ويتدرج الجزء الذى يظهر لنا من هذا السطح بطريقة تشبه تدرج أوجه القمر ، إلا أن قرب هذين الكوكبين من الشمس لا يسمح برؤيتهما أثناء النهار ، وأفضل الأوقات لمشاهدتهما يكون قبل الشروق وبعد الغروب .

٣ — الارض Earth : وهى إحدى الكواكب الصغيرة ، ويقع فلكها بين فلكي الزهرة والمريخ ، ولكنه أقرب إلى فلك الزهرة ، ويبلغ متوسط بعده عن الشمس ١٤٩ مليون كيلو متر (وحدة فلكية واحدة) ، وهى تتم دورتها حولها فى ١/٤ ٣٦٥ يوم ، أما دورتها حول نفسها فتتمها فى ٢٤ ساعة ، وإن دورانها فى فلكها حول الشمس هو المسئول عن تعاقب الليل والنهار كما أن موقعها المناسب من الشمس هو الذى جعلها أصلح الكواكب لظهور الحياة وتطورها ، فهى ليست قريبة منها بدرجة تؤدى إلى اشتداد حرارتها ، أو بعيدة عنها بدرجة تؤدى إلى اشتداد برودتها بشكل يحول دون ظهور الحياة . كما أن دورانها حول نفسها بسرعة معقولة قد ترتب عليه توزيع الحرارة والضوء على سطحها بصورة تسمح بالحياة والنشاط فوق معظم أجزائها، إلا فى نطاقات محدودة عند القطبين. ويعتبر الغلاف الجوى والغلاف المائى للارض كذلك من المميزات الرئيسية التى تميزها عن بقية الكواكب السيارة، والتى تجعلها صالحة للحياة. وأمامنا فى الفصول القادمة دراسات طبيعية أكثر تفصيلا عن هذا الكوكب.

٤ — المريخ Mars : وهو جار الارض من الناحية الأبعد عن الشمس . ويبلغ البعد بين فلكيهما حوالى ٧٩ مليون كيلو متر ، أى أنه يبعد عن الشمس بنحو ٢٢٨ مليون كيلومتر (١٫٥٢ وحدة فلكية) ولذلك فإنه أقل حرارة من الارض ، وتتراوح معدلاته الحرارية بين ١٠° مئوية عند خط استوائه و-٧٠° عند قطبيه ، وهو أصغر حجما من الارض حيث أن طول قطره يعادل نصف طول قطرها تقريبا ، وتستغرق دورته حول نفسه ١/٢ ٢٤ ساعة ، أما دورته حول الشمس فتستغرق ٦٨٧ يوما . وهو محاط بغلاف غازى

رقيق لا يعرف تركيبه بالدقة، ولكن من المحتمل أن تكون به نسبة ضئيلة جداً من بخار الماء. ولم يثبت حتى الآن وجود أى حياة تستحق الذكر على سطحه. وقد لوحظ أن منطقتيه القطبيتين تظهر بها فى فصل شتائه ألوان بيضاء ولكنها سرعان ما تختفى فى الصيف. ويرى بعض الفلكيين أنها غطاءات ثلجية ولكنها رقيقة جداً بدليل أنها لا تبقى فى الصيف على الرغم من عدم ارتفاع درجة حرارته، بينما يرى آخرون أنها عبارة عن سحاب أبيض رقيق جداً من نوع السحاق (السيروس Cirrus) المعروف فى جو الارض ، وهو مكون من بلورات ثلجية خفيفة .

ويوجد للمريخ قمران أكبرهما هو فوبوس Phobos وقطره حوالى ٨ كيلو مترات والثانى هو ديموس Deimos وقطره حوالى خمسة كيلو مترات ، وأولهما أسرع دورانا حول المريخ من الثانى ، فبينما تستغرق دورة الأول سبع ساعات و٣٩ دقيقة فإن دورة الثانى تستغرق ٣٠ ساعة و١٨ دقيقة .

الكواكب الخارجية Outer Planets :

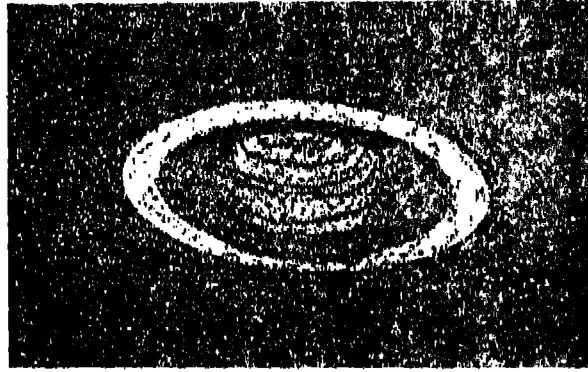
تختلف هذه الكواكب عن الكواكب الداخلية من عدة نواح، فهى أضخم منها حجما ، وخصوصا المشترى ثم زحل، وهما أكبر الكواكب على الإطلاق. وهى مكونة من مواد خفيفة لا تزيد كثافتها كثيراً عن كثافة الماء ، وجميعها شديدة البرودة جداً بسبب بعدها عن الشمس. وباستثناء بلوتو الذى لا يعرف تركيبه حتى الآن فإن الكواكب الأخرى ، وهى المشترى وزحل وأورانوس ونبتون متشابهة فى تركيبها ، فكل منها يتكون من نواة صخرية يحيط بها غلاف سميك من الجليد ويغلفه غلاف غازى يتكون فى جملته من النوشادر (الأمونيا) والميثين ، وفيما يلى وصف لكل كوكب من هذه الكواكب .

المشترى Jupiter : وهو أكبر الكواكب السيارة ، ويبلغ طول قطره ١٤٢٫٧٥٠ كيلو مترا ، وهو ما يعادل طول قطر الارض أحد عشر مرة . وهو يستأثر وحده بنحو ٠٫٧ من المجموع الكلى لحجم الكواكب السيارة

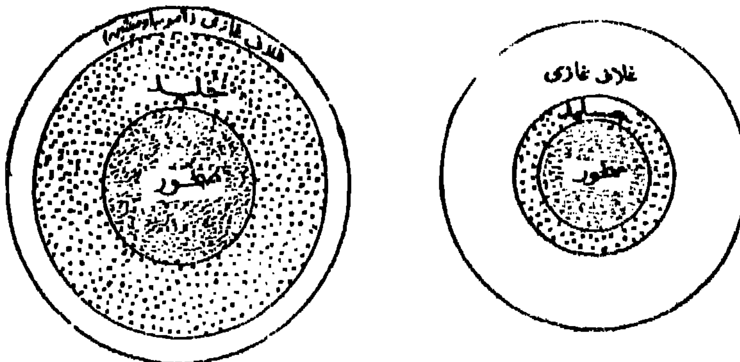
مجتمعة، ويعادل حجمه حجم الارض ١٤٠٠ مرة، وهو يبعد عن الشمس بنحو ٧٧٨ مليون كيلو متراً (٥,٢ وحدة فلكية)، وتزيد المسافة بينه وبين المريخ عن المسافة بين أي كوكبين آخرين متجاورين ويتخذ بعض الباحثين هذه الحقيقة دليلا على أن مجموعة الكويكبات (التي تقع في مكان متوسط تقريبا بين فلكي المشترى والمريخ) ربما كانت كوكبا واحدا ولكنه تفتت لسبب غير معروف. وسرعة دوران المشترى حول نفسه أكبر من سرعة دوران الارض حول نفسها، فهو يتم الدورة حول نفسه في ٩ ساعات وخمسين دقيقة، وهذا هو طول يومه، أما دورته حول الشمس فتستغرق ١١,٩ سنة. ونظرا لبعده عن الشمس فانه شديد البرودة جدا. ويقدر معدل درجة حرارته بنحو –١٣٨°م. ويعتقد الفلكيون أنه مكون من نواة صخرية صلبة قطرها حوالى ٧٠ ألف كيلومتر، ويحيط بها طبقة من الجليد سمكها ٢٥ ألف كيلومتر ويغلفها غلاف غازي كثيف سمكه تسعة آلاف كيلومتر ويتكون بصفة أساسية من الميثين والأمونيا (النوشادر). ويظهر هذا الغلاف بشكل سحب كثيفة تحجب جسم الكوكب تماما، وتقدر كثافة المشترى، بما في ذلك غلافه الغازي بحوالى ١,٣٤. وهو أكثر الكواكب أقماراً حيث يبلغ عدد أقماره اثنى عشرة قمرا. والواقع أنه يكاد يكون مع توابعه نظاما خاصا به. وبعض أقماره كبير الحجم حتى أن حجم بعضها يزيد عن حجم بعض الكواكب الصغيرة مثل عطارد. ومن الظاهرات الغريبة أن واحدا من أقمار المشترى يدور حوله في اتجاه معاكس للاتجاه الذي تدور فيه بقية الأقمار.

زحل Saturn: وهو يأتي بعد المشترى من حيث الحجم، ويبلغ طول قطره ١٠٥ آلاف كيلو متر. ويبدو منظره متميزا عن بقية الكواكب بوجود حلقات كبرى تدور حوله. وتتكون هذه الحلقات من ملايين الكتل الصخرية المتباينة الأحجام، وهو يبعد عن الشمس بنحو ١٤٢٨ مليون كيلو متر، (٩,٥٤ وحدة فلكية) وهو يتم دورته حول الشمس في ٢٩ ١/٢ سنة. أما

دورته حول نفسه فتستغرق عشر ساعات و١٤ دقيقة ، ومعنى ذلك أن طول يومه يقل عن طول يومنا على الأرض ، وهو أشد برودة من المشترى ويبلغ معدل درجة حرارته ـ ١٥٣° مئوية. وهو يشبه المشترى فى تركيبه ولكنه أقل منه كثافة بصفة عامة حيث تبلغ كثافته فى المتوسط ٧١ر٠ فقط، وكما هى الحال بالنسبة للمشترى فإنه يتكون من نواة صخرية قطرها حوالى ٤٥ ألف كيلومتر،



شكل (١٠) زحل



شكل (١٧) تركيب زحل وتركيب المشترى

ويحيط بها غلاف غازى كثيف سمكه حوالى ٢٨ ألف كيلو مترا. وهو يأتى بعد المشترى من حيث كثرة عدد التوابع حيث يبلغ عدد أقماره عشرة أقمار، وتدور تسعة منها حوله فى اتجاه واحد بينما يدور العاشر فى اتجاه معاكس.

٧ - أورانوس Uranus : اكتشف هذا الكوكب سنة ١٧٨١ وهو صغير الحجم بالنسبة للمشترى وزحل، ولكنه أكبر من الأرض بكثير حيث أن حجمه يزيد عن حجمها ٦٤ مرة وهو يبعد عن الشمس بنحو ٢٨٧٢ مليون كيلومتر، ويتم دورته حولها فى ٨٢ سنة، أما دورته حول نفسه فأسرع من دورة الأرض حول نفسها، فهى تستغرق حوالى عشر ساعات ونصف. وهو أشد برودة من زحل والمشترى، ويقدر معدل درجة حرارته بنحو -١٨٣° م. وهو يشبه كلا من زحل والمشترى فى تركيبه العام، فهو يتكون من نواة صلبة تحيط بها طبقة جليدية يكاد سمكها يعادل سمك الطبقة الجليدية فى زحل، كما أن غلافه الغازى يشبه الغلاف الغازى لزحل والمشترى، ويتبع هذا الكوكب خمسة أقمار.

٨ — نبتون Neptune : اكتشف هذا الكوكب فى سنة ١٨٤٦. وهو يبعد عن الشمس بنحو ٤٥٠١ مليون كيلومتر (٣٠.٠٦ وحدة فلكية) وتستغرق دورته حولها ١٦٥ سنة، ويتبعه قمر واحد. وهو لا يختلف كثيرا من حيث الحجم أو التركيب عن أورانوس ولكنه أشد منه برودة، ويقدر معدل درجة حرارته بنحو -٢١٠° م، ويبلغ سمك طبقته الجليدية نفس سمكها فى كل من زحل وأورانوس وهو ٩٠٠٠ كيلو متر تقريبا. أما سمك غلافه الغازى فيبلغ نحوا من ٣٠٠٠ كيلو متر.

٩ - بلوتو Pluto : وهو آخر ما اكتشف من الكواكب السيارة، وقد

تم اكتشافه فى سنة ١٩٢٠ ، ويبلغ بعده عن الشمس حوالى ٥٩٠٩ مليون كيلو متر (٥٩٫٥٢ وحدة فلكية) وتستغرق دورته حولها ٢٤٨٫٣ سنة ، ويلاحظ أن فلكه ليس موازيا لفلك نبتون بل إنه يتقاطع معه بما يجعله فى بعض الأوقات أقرب منه إلى الشمس . ولا يزال حجم بلوتو غير معروف بالضبط ، ولكن من المعتقد أن حجمه قريب من حجم الأرض ، كما أن تركيبه مازال غير معروف .

الكويكبات Asteroids : وهى عبارة عن مجموعة من عدة آلاف من الكتل الصلبة التى تسبح فى الفضاء المحصور بين فلكى المريخ والمشترى ، وهى متباينة فى أحجامها بحيث يزيد قطر قليل منها عن ٧٠٠ كيلو متر بينما يقل قطر الكثير منها عن كيلومتر واحد ويعتقد بعض العلماء أن هذه الكويكبات كانت فى الأصل كوكبا متكاملا ، ولكنه تفتت لسبب غير معروف وظلت أجزاؤه تدور فى أفلاك قريبة من فلكه الأصلى . ولا تعتبر هذه الكويكبات من الكواكب السيارة التسع ، ولكنها على أى حال جـزء من المجموعة الشمسية . وأكبرها هو الكويكب سيريس Ceres وقطره حوالى ٧٥٠ كيلو مترا ، وتوجد غيره ثلاثة كويكبات فقط يزيد قطرها على ١٥٠ كم ، أما الآلاف الباقية فأصغر من ذلك .

القمـــــر

نظراً لقرب القمر من الارض ولتأثيره المباشر على حياة الإنسان فقد احتل مركزا هاما فى أفكار الشعوب وتخيلاتها منذ بدء الحياة البشرية حتى عصر الفضاء الحالى الذى وصل فيه الإنسان فعلا إلى سطح القمر ، وبوصوله إليه أمكنه أن ينتقل فى دراسته له من مرحلة الرصد البعيد إلى مرحلة الدراسة

المبنية على الحس والمشاهدة . وقد كانت بداية هذا الانتقال هى الرحلة التى قام بها اثنان من رواد الفضاء الامريكيين فى سفينة الفضاء « أبوللو ١١ » يوم ٢٠ يوليو سنة ١٩٦٩ . فقد تجول هذان الرجلان (وهما أرمسترونج وآلدرين) على سطح القمر والتقطا كثيرا من الصور وجمعا كثيراً من عينات الصخور والتربة ، وفى ١٢ نوفمبر سنة ١٩٧٠ قام رائدان آخران برحلة مشابهة فى «أبوللو ١٢» والتقطا المزيد من الصور وجمعا المزيد من العينات . وقد ألقت الملاحظات التى سجلها الرواد والدراسات التى أجراها العلماء على الصور والعينات كثيرا من الضوء على طبيعة القمر فأصبحت المعلومات الخاصة به أكثر دقة وتفصيلا .

ويميل بعض العلماء إلى الاعتقاد بأن القمر ليس مجرد تابع للارض وإنما هو كوكب قائم بذاته ، وهو على كل حال أصغر حجما منها بكثير حيث أن حجمه يعادل $\frac{1}{49}$ من حجمها، ويبلغ طول قطره حوالى ٣٤٨٠ كيلومترا أى أكبر قليلا من $\frac{1}{4}$ قطر الارض . ومتوسط كثافته ٣٫٣٤ ، وهو أقل من متوسط كثافة الكرة الارضية . ولذلك فان كتلة الارض تعادل كتلته ٨١ مرة كما ، أن جاذبيته تعادل $\frac{1}{6}$ من الجاذبية الارضية ، ولذلك فان الشخص الذى يسير أو يقف فوقه يشعر دائما بأنه خفيف جدا لدرجة أنه يستطيع أن يقفز إلى أعلى دون بذل أى مجهود . ويبلغ متوسط البعد بين القمر والارض ٣٨٣٦٠٠ كيلو متر . أما طول فلكه حولها فيبلغ ٢٫٤ مليون كيلو متر تقريبا .

تضاريس سطح القمر :

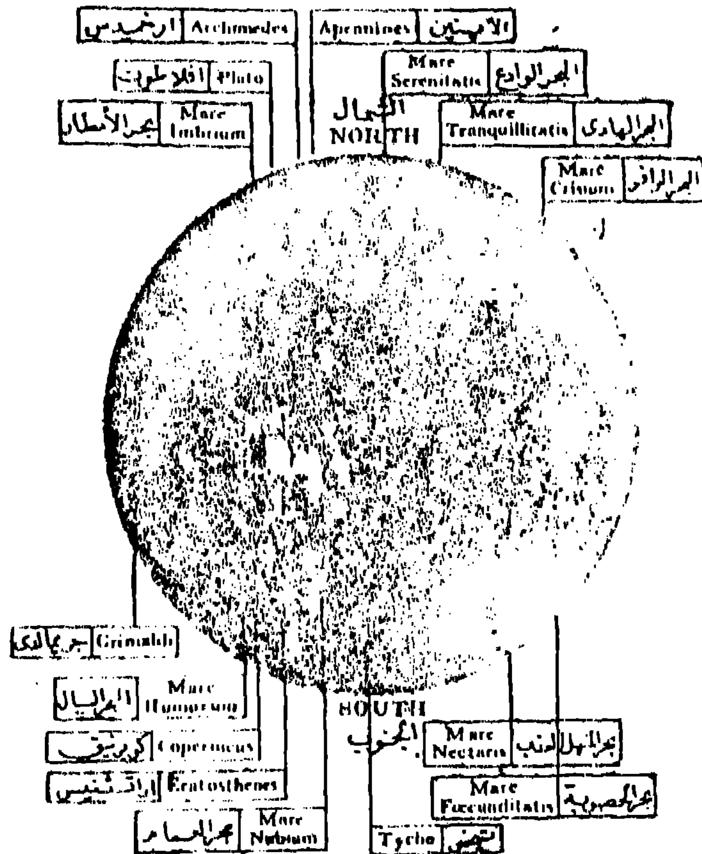
من الممكن حتى بالعين المجردة أن يدرك المرء أن سطح القمر ليس كله ذا طبيعة واحدة ، فبعض أجزائه يبدو داكنا وبعضها الآخر يبدو لامعا ،

وقد ساعدت المناظر الفلكية المتقدمة حتى قبل عصر الفضاء على توضيح كثير من الحقائق الخاصة بسطح القمر بدرجة أمكن معها رسم بعض الخرائط له.
وقد ظهرت فى هذه الخرائط ثلاثة أشكال رئيسية للتضاريس هى :

(١) البحار Maria : وهى عبارة عن مسطحات واسعة ليس بها أى ماء ، ويبدو سطحها رماديا داكنا ، ويعزى ذلك إلى أن سطحها مغطى بطبقة من اللافا البازلتية والرماد البركانى الناعم ، وتتغطى كثيرا منها تربة هشة ناعمة من الرماد ومن فتات الصخور . ويكون سمك هذه التربة كبيرا فى بعض المواضع بحيث يصل إلى بضعة أمتار . وقد أطلقت على هذه البحار أسماء خاصة مثل البحر الهادى، Mare Tranquillitatis وبحر الأمطار Mare Imbrium وغيرها . ومعظمها أسماء يونانية قديمة موضوعة منذ عهد جاليليو الذى كان له الفضل الاكبر فى كشف كثير من مظاهر سطح القمر بعد اختراعه للمنظار المقرب (التلسكوب) .

(٢) الجبال : وهى المناطق المرتفعة التى تفصل البحار بعضها من بعض ، ويمتد بعضها بشكل سلاسل طويلة مرتفعة ، بينما يظهر بعضها الآخر بشكل قمم بركانية منعزلة ، وقد أعطيت لهذه الجبال أسماء معظمها مأخوذ من أسماء جبال الارض مثل جبال الالب وجبال الابنين وغيرها . وعلى الرغم من أن بعض سلاسل هذه الجبال ترتفع عن « البحار » المجاورة لها بحوالى ٦٠٠٠ متر إلا أنها لا تبدو واضحة للشخص الواقف على سطح القمر إلا إذا كان قريبا منها ، أما إن بعد عنها بنحو كيلو مترين فانه قد لا يدركها لانها تكون مائلة مع الافق بسبب صغر حجم القمر ، وتبدو جبال القمر فاتحة اللون بالنسبة للبحار التى حولها .

(٣) الفوهات : وهى موجودة على سطح القمر بأعداد كبيرة جداً ، ويقدر عددها ببضع مئات الآلاف ، وهى تشبه فوهات البراكين ، وبعضها فعلا فوهات بركانية إلا أن أغلبها عبارة عن فجوات نتجت من ارتطام النيازك والشهب بسطح القمر . وبعض الفوهات كبيرة الحجم جداً بحيث يصل قطرها إلى بضع عشرات من الكيلومترات . ومثل هذه الفوهات يمكن مشاهدتها وتصويرها من الأرض بالاستعانة بالمناظر المقربة ، ومع ذلك فإن أغلب الفوهات صغيرة الحجوم وكثير منها لا يزيد قطره عن بضعة أمتار .



شكل (١٨) بحار القمر وجباله

نشأة القمر :

كما هي الحال بالنسبة لنشأة الأرض فإن نشأة القمر مازالت هي الأخرى غير معروفة ، على الرغم من وجود عدد من الافتراضات التي حاولت إلقاء بعض الضوء عليها . ومن أمثلة هذه الافتراضات افتراض يقول بأن القمر نشأ نشأة مستقلة في نفس الوقت الذي نشأت فيه الأرض وبنفس الطريقة . وسنتكلم على نشأة الأرض في الفصل التالي .

وثمة افتراض آخر هو أن القمر انفصل من الأرض في المكان الذي يشغله حاليا القسم الشمالي من المحيط الهادى . وقد جاء بهذا الافتراض عالم الفلك جورج داروين سنة ١٨٨١ م حيث قال إن هذا الانفصال قد حدث بسبب دوران الأرض حول نفسها عندما كانت لا تزال ملتهبة . إلا أن هذا الافتراض واجه كثيرا من النقد حتى فقد معظم أهميته في الوقت الحاضر .

الفصل الثالث

حركات القمر وحركات الارض

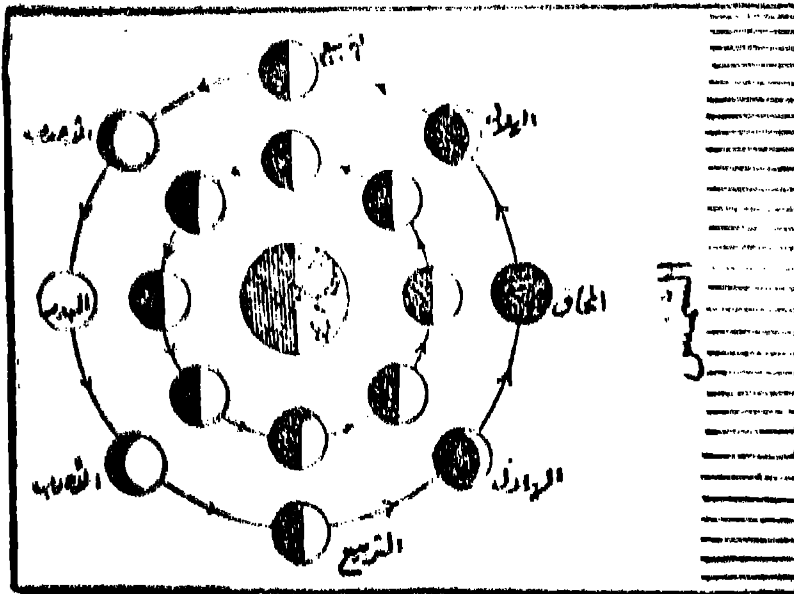
أولا ـ حركات القمر

اوجه القمر :

إن محصلة دوران القمر بسرعة معينة حول نفسه وحول الأرض ودورانهما معا حول الشمس هي السبب في أن جانبا واحدا من القمر هو الذي يقابل الشمس باستمرار بينما يظل الجانب الآخر في الاتجاه المضاد ويبقى لذلك مظلما باستمراره ويؤدي سقوط الاشعة الشمسية دائما على الجانب المقابل للشمس أو على جزء منه على حسب الاوجه القمرية المعروفة إلى ارتفاع درجة حرارته ارتفاعا شديدا ، بينما يبقى الجانب الآخر مظلما وشديد البرودة والجانب الذي تسقط عليه أشعة الشمس مباشرة هو الجانب الذي يظهر لنا كله أو بعضه مضيئا على طول الشهر العربي على حسب النظام الذي تسير عليه الاوجه القمرية المعروفة والذي يحدد هذه الأوجه هو موقع القمر بالنسبة للشمس والأرض أثناء دورانه حول الأرض . ففي أول الشهر العربي يكون القمر واقعا بين الشمس والارض على خط واحد فلا نرى منه شيئا لأن جانبه المظلم هو الذي يكون مقابلا لنا ، ونطلق عليه عندئذ اسم « المحاق » ولكن ما أن يبدأ الشهر حتى يأخذ الجانب الذي يواجه الشمس في الظهور تدريجيا تبعا لدوران القمر حول الارض من الغرب إلى الشرق ، وبسقوط أشعة الشمس على الجزء الذي يظهر منه فانه يظهر مضيئا بشكل هلال في أول الامر ولكنه ينمو يوما بعد يوم حتى يظهر في نهاية الاسبوع الاول بشكل نصف قرص يشتهر باسم « التربيع الاول » . وفي حوالي يوم ١١ أو ١٢ من الشهر تكون حوالي ثلاثة أرباع القرص قد أصبحت مضيئة ويعرف القمر عندئذ باسم « الأحدب » . فإذا كان منتصف الشهر

أصبح الارض كله مضيئا وأصبح القمر « بدرا » . وفى هذا الوقت يكون القمر قد أكمل نصف دورة كاملة فى فلكه حول الارض ، ويكون جانبه المضىء كله فى مواجهة الارض والشمس . ولكن مع استمرار دورانه حولها من الغرب إلى الشرق يأخذ الجزء المضىء من قرصه فى التناقص بنفس الطريقة التى تزايد بها فى النصف الاول من الشهر ولكن بشكل عكسى فيعود أحدبا فتربيعا ثانيا فهلالا ثم ينتهى بالمحاق حيث يبدأ الشهر العربى التالى (أنظر شكل ١٩) .

والمعتاد عند ظهور أوجه القمر المختلفة ، عدا البدر ، ألا يكون الجزء غير المضىء من قرصه مختفيا تماما بل إنه يكون مضاءاً بضوء خافت جدا . وليس هذا الضوء إلا الضوء الذى ينعكس نحوه من سطح الارض ، فكما أن القمر يرسل إلينا ضوءه نتيجة لانعكاس أشعة الشمس على سطحه فإن الارض هى



(شكل ١٩) أوجه القمر

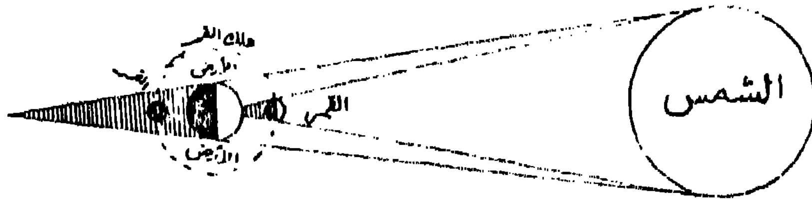
الاخرى ترسل إليه الضوء بعد انعكاس أشعة الشمس عليها . ومن الطبيعي أن يكون الضوء الذى ترسله الارض إليه أقوى بكثير من الضوء الذي يرسله هو اليها بسبب كبر حجمها بالنسبة إليه وتغطية القسم الاكبر من سطحها بالمياه والغطاءات الجليدية التي يمكنها بفضل لمعانها أن تعكس كميات كبيرة من الضوء .

الشهر القمري (Lunar Month (or Synodic Month : هو المدة التي تمر بين ظهور هلالين جديدين متتاليين ، وهي غالبا ½٢٩ يوم تقريبا ، وهي أيضا المدة التي تمر بين وقوع الارض والقمر والشمس على خط واحد (وضع المحاق) وعودتها مرة أخرى إلى نفس الوضع . ويلاحظ أن هذا الشهر يزيد بمقدار يومين عن المدة التي يستغرقها القمر فعلا لاتمام دورة كاملة حول الارض وهي ⅓ ٢٧ يوم . وتحسب هذه المدة بمقارنة موقع القمر والارض بالنسبة لنجم آخر غير الشمس ، وهي على هذا الاساس تمثل المدة التي تمر بين وقوع الارض والقمر وأحد النجوم على خط واحد مرتين متتاليتين . ويطلق على هذه المدة تعبير « الشهر النجمي Sidereal month »[1] أما السبب في زيادة طول الشهر القمرى عن الشهر النجمي بيومين فهو أنه بينما يكون القمر سائراً في دورانه حول الارض فإن الارض نفسها تكون آخذة في التقدم في فلكها حول الشمس بمعدل درجة واحدة في اليوم . وهذا يحتم على القمر أن يواصل دورانه لمدة يومين إضافيين في فلكه حولها حتى يصل إلى الوضع الذى يكون فيه هو والارض والشمس على خط واحد [2] .

(١) Sidereal أصلها لاتيني ومعناها « المتعلق بالنجوم of the Stars »
(٢) Stone, D. B., (Earth Science) · N. 4 · Namourtz · 3rd ed. 1965, P. 394.

خسوف القمر Lunar Eclipse وكسوف الشمس Solar Eclipse :

تحدث هاتان الظاهرتان نتيجة لدوران القمر حول الأرض ودورانهما معا حول الشمس . ففي أثناء هذا الدوران يحدث في بعض الأوقات أن تقع الأرض بين الشمس والقمر بحيث يسقط ظلها عليه ، فعندئذ يحدث الخسوف ويبدو الجزء الواقع في الظل من القمر معتما . فالخسوف بعبارة أخرى هو تعتيم القمر أو جزء منه نتيجة لسقوط ظل الكرة الأرضية عليه عندما تقع بينه وبين الشمس . وقد يكون الخسوف كليا إذا وقع القمر بأكمله في مخروط ظل الأرض وجزئيا إذا كان ظلها يغطي جزءا منه فقط . ولا يحدث الخسوف إلا إذا كان القمر بدرا ، ولكنه لا يحدث مع كل بدر لأن فلك القمر لا يقع في نفس مستوى فلك الأرض وإنما يميل عليه بمقدار خمس درجات ويستغرق الخسوف الكلي عادة حوالي ساعتين . وفي هذا الخسوف تبدو منطقة شبه الظل Penumbra (وهي المنطقة المحيطة بمنطقة الظل نفسها Umbra) معتمة بحيث لا نكاد نرى إلا بصعوبة .

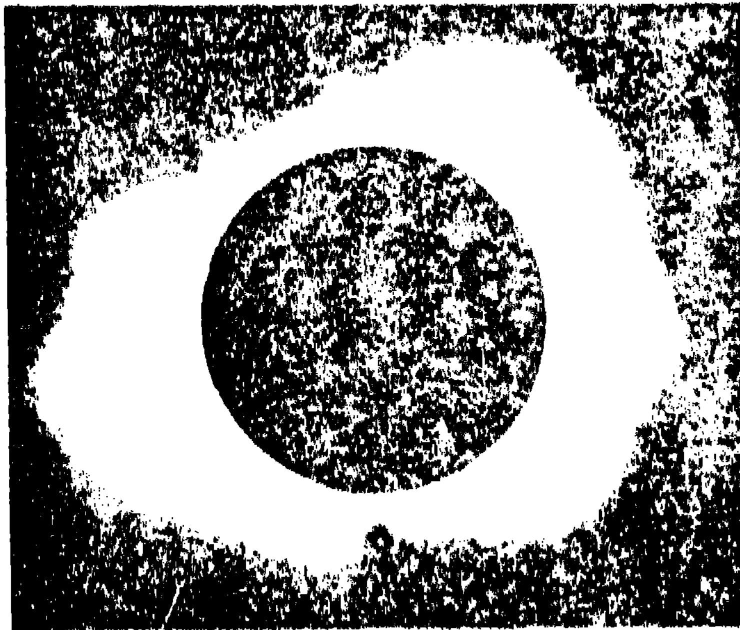


شكل (٢) خسوف القمر وكسوف الشمس

أما كسوف الشمس فيحدث عندما يقع القمر بين الشمس والأرض بحيث يسقط ظله على الأرض ، ولذلك فإنه لا يحدث إلا عند ظهور الهلال في أول الشهر ، ولكنه لا يحدث في أول كل شهر بسبب ميل فلك القمر على مستوى فلك الأرض . وقد يكون الكسوف كليا Total Eclipse إذا حجب ظل القمر قرص الشمس كله، أو جزئيا Partial Eclipse إذا حجب جزءا منه،

ولكن إذا حدث ولم يصل امتداد مخروط ظل القمر إلى الأرض فإن قرص الشمس يبدو وحوله حلقة دائرية مضيئة ، ويعرف هذا الكسوف بالكسوف الحلقي Annular Eclipse .

وكسوف الشمس أكثر حدوثا من خسوف القمر ، ومع ذلك فان المرات التي يمكن مشاهدته فيها أقل من المرات التي يشاهد فيها خسوف القمر لأن الكسوف لا يظهر إلا في منطقة صغيرة جدا بسبب تناقص مساحة مقطع مخروط ظل القمر بسرعة في المسافة المحصورة بينه وبين الارض ، ويؤدي ذلك إلى أن الكسوف الكلي لا يرى إلا في شريط ضيق على سطح الارض والواقع أن قطر مخروط الظل الذي يسبب هذا الكسوف يبلغ عادة ١٣٦ كيلو مترا فقط .



شكل (٢١) كسوف كلي (لاحظ وجود الهالة الضوئية حول الشمس)

ويلاحظ أنه ، بخلاف ما يحدث في الخسوف ، فأن منطقة شبه الظل على قرص الشمس تكون واضحة بحيث تسهل مشاهدتها ، ولا شك أن صغر المنطقة التي يظهر فيها الكسوف الكلي في مكان ما ، هو السبب في قلة مشاهدته ، حتى أنه يعتبر من الاحداث الفلكية النادرة التي ينتقل الفلكيون من مختلف بلاد العالم لرصدها في المنطقة التي ينتظر حدوثها فيها . ولئن كان الخسوف الكلي للقمر يستمر ساعتين فإن الكسوف الكلي للشمس لا يستمر تماما إلا دقائق معدودة .

ثانياً ـ حركات الارض

اولا ـ خطوط الطول Longitudes وخطوط العرض Latitudes :

إن خطوط الطول عبارة عن أنصاف دوائر ممتدة بين القطبين. وهي تمس الخطوط التي يطلق عليها كذلك تعبير خطوط الزوال Meridians of Longitude (١) وذلك لأن الشمس ترتفع إلى أعلى وضع لها (الزوال) في كل الاماكن الواقعة على أى خط منها في منتصف النهار mid-day في وقت واحد. وسطح الكرة الأرضية مقسم إلى ٣٦٠° درجة طولية منها ١٨٠° إلى الشرق من خط جرينيتش (خط طول صفر) والـ ١٨٠° الاخرى إلى الغرب منه . وترجع أهمية خطوط الطول بصفة خاصة إلى علاقتها بتغير الزمن بين الشرق والغرب وإمكان استخدامها مع خطوط العرض لتعيين المواقع الجغرافية على الخرائط ومن الواضح أن خطوط الطول ليست متوازية وأن المسافة التي تشغلها الدرجة الطولية الواحدة هي أكبر ما تكون على خط الاستواء ثم تتناقص كلما اتجهنا نحو القطبين حتى تصل إلى أدناها عند القطب نفسه ، فعند

(١) كلمة Meridian مأخوذة من الكلمة اللاتينية Meridies ومعناها Mid - day أي منتصف النهار (G . Kellaway, 1 58) P. 8.

خط الاستواء تبلغ المسافة التي تشغلها الدرجة الطولية ١١١٫٣ كيلو مترا بينما تبلغ نصف ذلك المقدار عند خط عرض ٦٠° وتنتهي إلى لا شيء عند القطب .

أما خطوط العرض ، أو دوائر العرض ، فهي عبارة عن دوائر متوازية أكبرها هي دائرة خط الاستواء ثم يتناقص طولها تدريجيا كلما اتجهنا نحو القطبين على حسب شكل الكرة ، وإن توازي هذه الدوائر (أو الخطوط) هو الذي جعلها تعرف كذلك باسم خطوط العرض المتوازية Parallels of Latitude وقد قسم سطح الكرة الأرضية بين القطبين إلى ١٨٠° عرضية تسعون منها شمال خط الاستواء وتسعون منها جنوبه ، وعلى العكس من الدرجات الطولية التي يتناقص طول مسافاتها كلما اتجهنا نحو القطبين فإن الدرجات العرضية كلها متساوية وخصوصا في العروض الدنيا أما في العروض العليا (١) فإن مرطحة الأرض هنالك يترتب عليها زيادة طول المسافة التي تشغلها كل درجة من الدرجات العرضية بعض الشيء عنها في بقية العروض ، فبينما نجد أن المسافة التي تشغلها الدرجة العرضية عند خط الاستواء مثلا هي ١١٠ كيلو مترات تقريبا فانها تبلغ ١١١ كيلو مترا قرب القطبين ، وعلى الرغم من أن الفرق بينهما بسيط في حد ذاته فانه يؤدي إلى بعض الخطأ في رسم خرائط العالم إن لم يحسب له حساب، لأنه يؤدي إلى إظهار المناطق الواقعة في العروض العليا على الخريطة أوسع بكثير من المناطق المساوية لها فعلا في العروض الدنيا .

وخطوط العرض لها أهمية مناخية وفلكية كبيرة بسبب علاقتها بحركة الشمس الظاهرية وتتابع الفصول ودرجة ميل الأشعة واختلاف طول الليل والنهار . كما أنها تستخدم مع خطوط الطول لتحديد مواقع الأماكن المختلفة وخصوصا في البحار والمحيطات والصحاري الواسعة والمناطق القطبية حيث لا توجد علامات جغرافية مميزة .

وأشهر الدوائر العرضية التي لها أهمية جغرافية وفلكية خاصة هي: خط الاستواء وهو خط الصفر ، ومدار السرطان والجدي ودرجتهما ٢٣٫٥ شمالا

---

(١) «العروض الدنيا» و «العروض العليا» ما تعبيران عامان يقصد بهما العروض القريبة من خط الاستواء والعروض القريبة من القطبين على الترتيب .

وجنوبا على الترتيب ، وهي معادلة لزاوية ميل محور الأرض على الخط العمودى ، ثم الدائرتان القطبيتان ودرجتها هي ٦٦٫٥° شمالا وجنوبا ، وهي تعادل الزاوية التي يميل بها محور الأرض على المستوى الذى يقع فيه فلكها .

وخط الاستواء هو خط الاعتدال ، وترجع أهميته إلى أن نظام الفصول في شماله معاكس لنظامها في جنوبه ، كما أن أشعة الشمس لا تميل عنه بأكثر من ٢٣٫٥° في أى وقت من الأوقات ، وأن طول الليل وطول النهار يتساويان عنده على مدار السنة .

أما السرطان ومدار الجدي فهما أبعد خطين تصل إليهما الشمس في هجرتها الظاهرية نحو الشمال ونحو الجنوب ، إذ أن تصل الشمس في تحركها الظاهرى شمالا إلى مدار السرطان في ٢١ يوليو حتى تقفل راجعة نحو الجنوب إلى أن تصل إلى مدار الجدى في ٢١ ديسمبر فترجع ثانية نحو الشمال . ومعنى ذلك أن الشمس لا تتعامد على أى خط عرض من الخطوط الواقعة وراء هذين المدارين من ناحية القطبين في أى وقت من الاوقات خلال السنة ، بينما تتعامد مرتين على كل خط عرض من الخطوط الواقعة بين المدارين وذلك أثناء تحركها الظاهرى نحو الشمال ونحو الجنوب ، ويبلغ طول الفترة التي تفصل مرتى التعامد ستة أشهر على خط الاستواء نفسه ، ثم تتناقص كلما ابتعدنا عنه نحو المدارين ، اللذين يحدث التعامد على كل منهما مرة واحدة .

أما الدائرتان القطبيتان فهما تحددان بداية المناطق التي يوجد فيهما يوم كامل أو أكثر لا تغرب له شمس في قلب الصيف ويوم كامل أو أكثر لا تشرق له شمس في قلب الشتاء . ويتزايد عدد الايام التي لا تغرب لها شمس في الصيف أو التي لا تشرق لها شمس في الشتاء كلما اقتربنا من القطبين حتى تصل إلى ستة أشهر عندها .

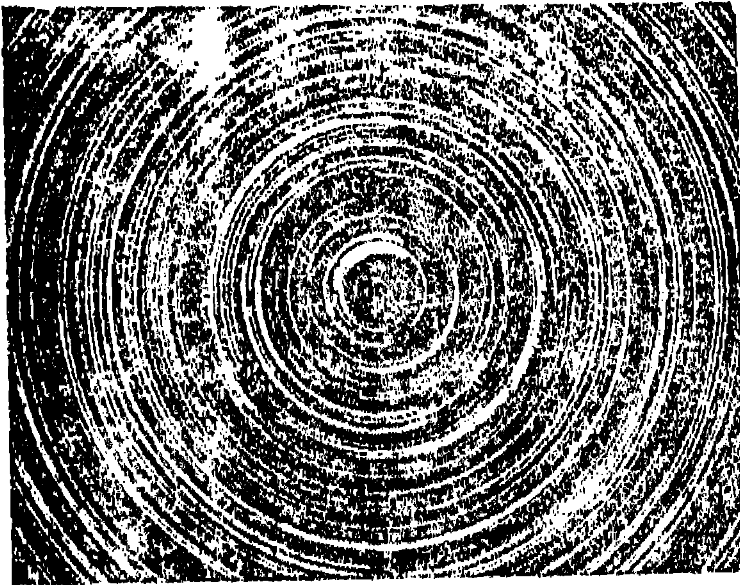
الدوائر العظمى Great Circles : ويقصد بها الدوائر الطولية أو الدوائر العرضية التي يمكن أن ينقسم بها سطح الكرة الارضية إلى نصفين متساويين.

ولا توجد على هذا الاساس إلا دائرة عرض عظمى واحدة هي الدائرة الاستوائية ، أما الدوائر الطولية العظمى فيمكن أن يوجد منها أى عدد ، لان أى خطى طول متقابلين تماما يمكن أن تتكون منها دائرة عظمى ينقسم بها سطح الكرة الارضية إلى نصفين متساويين .

الاهمية الجغرافية لدوران الارض وميل محورها :

تدور الكرة الارضية دورتين إحداها حول محورها Rotation وتستغرق ٢٤ ساعة ، والأخرى فى فلكها حول الشمس Revolution وتستغرق ٣٦٥¼ يوم . وتنطلق الارض فى هذا الفلك بسرعة فائقة تبلغ حوالى ٣٠ كيلو مترا فى الثانية (١٠٨٠٠٠ كيلو متر فى الساعة) .

وعلى الرغم من السرعة الفائقة التى تدور بها الارض سواء حول نفسها أو فى فلكها حول الشمس فاننا لا نشعر بها لان كل شىء عليها من صخور ومياه وهواء وحياة يتحرك فى وقت واحد بنفس السرعة ولكن من الممكن



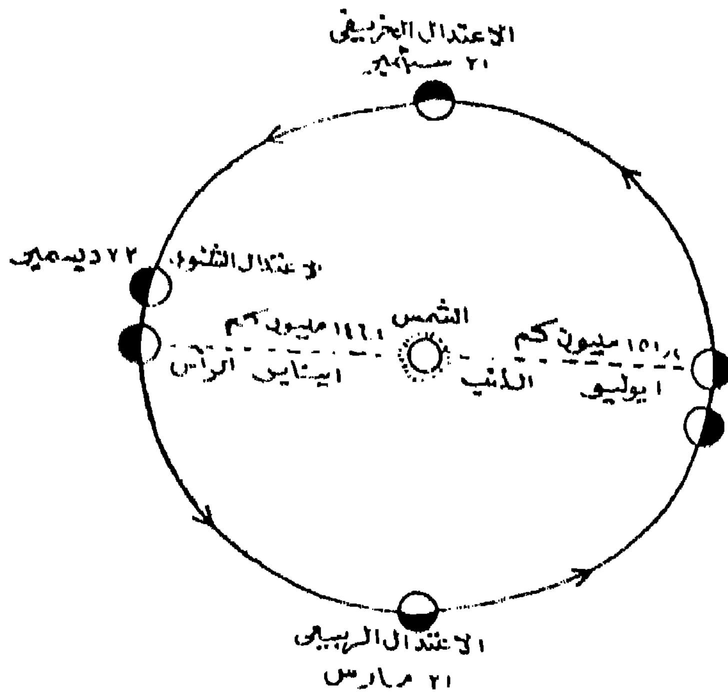
شكل (٢٢) منظر السماء مصور عند القطب وتبدو الاجرام السماوية وكأنها تدور بسرعة حول مركز السماء أى حول النجم القطبي

أن نلاحظ هذا الدوران من الصور الفوتوغرافية التي أخذت طول الليل في المنطقة القطبية النجم القطبي والنجوم القريبة منه (شكل ٧٢) فقد أظهرت الصور أن هذه النجوم قد دارت حول النجم القطبي الذي يشير إليه محور الارض فرسمت حوله مسالك دائرية ، ولما كانت هذه النجوم لا تتحرك فعلا بهذه الصورة فان الخطوط الدائرية التي تبدو وكأنها سارت على طولها إنما سببها هو دوران الأرض حول محورها .

وعلى الرغم من دوران كل ما على الأرض نفسها في نفس اتجاه دوران الارض حول محورها من الغرب إلى الشرق فان حركة الرياح والتيارات البحرية قد تتحرر بعض الشيء من هذا الارتباط ، ولكنها مع ذلك تظل متأثرة بدوران الارض ولكن بنظام خاص ، فالمعروف أن هذا الدوران يؤدى إلى انحراف الرياح إلى يمين اتجاهها في نصف الكرة الشمالي وإلى يساره في نصفها الجنوبي على حسب قانون مشهور هو قانون فرل Ferrel's Law ، ويظهر نفس هذا التأثير كذلك على اتجاه التيارات البحرية في المحيطات الواسعة ولكن بصورة أقل وضوحا منه بالنسبة للرياح .

وبما أن فلك الارض حول الشمس أقرب إلى الشكل البيضاوى منه إلى الشكل الدائرى ، فان له مركزين ، شأنه في ذلك شأن أى شكل بيضاوى . ولذلك فان الشمس قد توجد في أحد المركزين في بعض الاوقات ثم تنتقل إلى المركز الآخر في أوقات أخرى ، على حسب ما يفرضه دوران الأرض نفسها ، ونتيجة لذلك فان الأرض قد تكون أقرب إلى الشمس في بعض الاوقات منها في أوقات أخرى على حسب موقعها بالنسبة للمركز الذى تتواجد فيه الشمس . ومن المعروف أن الشمس في الوقت الحاضر تكون في وقت الانقلاب الشتوى (٢١ ديسمبر) واقعة في المركز الاقرب إلى الأرض ، ويبلغ البعد بينهما أدناه في أول يناير حيث يبلغ ١٤٦٫٤ مليون كيلومتر ، ويقال إن الشمس موجودة وقتئذ في نقطة الرأس Perihelion . بينما تحدث

العكس في وقت الانقلاب الصيفي (٢١ يونيو) حيث تكون الشمس في المركز الأبعد عن الأرض ، ويبلغ البعد بينهما أقصاه في أول يوليو حيث يبلغ ١٥١٫٢ مليون كيلو متر ويقال إن الشمس عندئذ موجودة في نقطة الذنب Aphelion [١] (شكل ٢٣) وعلى الرغم من أن الأرض تكون في فصل الشتاء أقرب إلى الشمس بحوالي ٤٫٨ مليون كيلو متر وأن الأشعة الشمسية التي تصل إلى أعلى جو الأرض في هذا الفصل أكبر من التي تصل إليه



شكل (٢٣) البعد بين الأرض والشمس في الفصول المختلفة

في الصيف بحوالي ٧٪ فإن هناك عوامل مختلفة أخرى تؤدي إلى إلغاء تأثير هذه الزيادة، بل وإلى برودة فصل الشتاء، ومن أهمها شدة ميل أشعة الشمس في هذا الفصل مع قصر النهار ، وخصوصا كلما اتجهنا نحو القطبين .

(١) helion باللاتينية معناها شمس ، و Peri قريب ، و ap بعيد .

وكثرة ما يرتد إلى الفضاء من أشعة الشمس بواسطة السحب وغيرها من المواد العالقة دون أن يستفيد به جو الأرض (١) .

وبالإضافة إلى ما تقدم فان دورتى الأرض وميل محورها فى اتجاه واحد باستمرار لها نتائج جغرافية وفلكية غاية فى الأهمية بسبب علاقاتها المباشرة بكل المظاهر الطبيعية والحيوية على سطح الأرض . ويمكننا أن نلخص هذه المظاهر فيما يلى :

أ ــ تعاقب الفصول على مدار السنة .

ب ــ تتابع الليل والنهار وتباين طولهما .

حـ ــ اختلافات الزمن فى الأماكن الواقعة على خطوط طولية مختلفة .

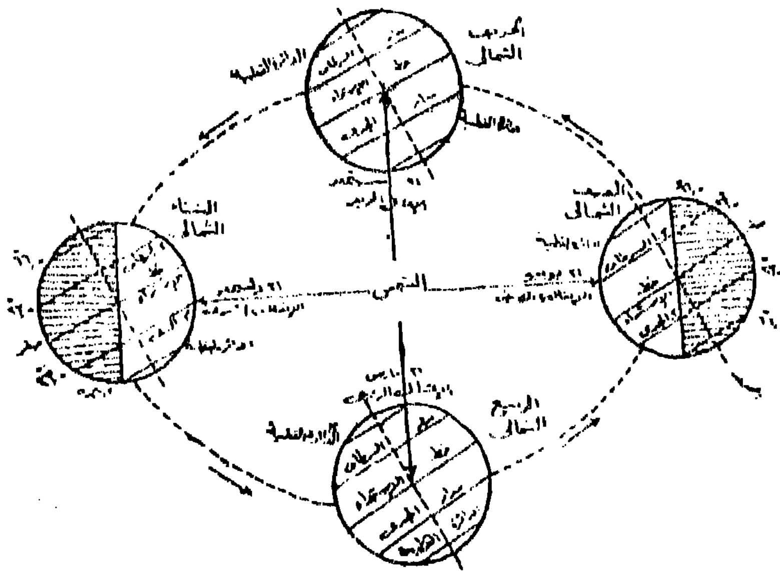
تعاقب الفصول :

يرجع هـذا التعاقب إلى دوران الأرض فى فلكها حول الشمس وميل محورها مع بقاء هـذا الميل ثابتا فى اتجاه واحد بزاوية قدرها ٢٣٫٥° على الاتجاه العمودى على المستوى الذى يقع فيه هـذا الفلك ، فهذان العاملان هما اللذان يؤديان إلى هجرة الشمس هجـرة ظاهرية على دائرة البروج ما بين المدارين بما يجعلها تتعامد مرة فى السنة فى نهاية رحلتها نحـو الشمال على مدار السرطان فى ٢١ يوليو ، وهو يوم الانقلاب الصيفى ، ومرة أخرى فى نهاية رحلتها نحو الجنوب على مـدار الجدى فى ٢١ ديسمبر ، وهو يوم الانقلاب الشتوى . وفى أثناء تعامدها على مدار السرطان يكون القطب الشمالى فى أقرب وضع له إليها بينما يكون القطب الجنوبى فى أبعد وضع له عنها ، وهكذا يكون الفصل صيفا فى شمال خط الاستواء بينما يكون شتاء فى جنوبه (شكل ٢٤) .

---

(١) تعرف هذه الظاهرة باسم « الألبيدو الارضى Earth's Albedo » ويقصد بها قدرة الأرض وجوها على رد أشعة الشمس الى الفضاء دون أن تتأثر بها حرارة الجو .

وفي أثناء تحرك الشمس الظاهري بين المدارين فإنها تتعامد مرتين على كل العروض الواقعة بينهما ، إلا أن الفترة التي تمر بين مرتي التعامد تبلغ أقصاها وهو ستة أشهر (٢١ مارس و ٢١ سبتمبر) على خط الاستواء ثم تتناقص تدريجيا كلما اتجهنا نحو القطبين حتى لا يكون هناك إلا مرة تعامد واحدة على كل مدار من المدارين . ومرتا تعامد الشمس على خط الاستواء هما المعروفتان باسم الاعتدالين .



شكل (٢٤) تعاقب الفصول

تتابع الليل والنهار وتباين طولهما :

إن تتابع الليل والنهار هو النتيجة المباشرة لكروية الأرض ولدورانها حول محورها أمام الشمس مرة واحدة كل يوم ، ولكن إذا فرض وكان محور الأرض عموديا على مستوى فلكها حول الشمس لكان طول الليل وطول النهار متساويين باستمرار على مدار السنة في كل مكان على سطحها ، ولذلك فإن

ميل المحور على هذا المستوى هو المسئول عن التباين الذى نعرفه فى طول الليل والنهار فى كل العروض ماعدا منطقة خط الاستواء الذى يتساوى فيها طولها طوال السنة تقريبا فباستثناء هذه المنطقة نجد أن طول نهار الصيف يزيد دائما من طول ليله بينما يزيد طول ليل الشتاء عن طول نهاره فى كل العالم . ويتزايد الفرق بينهما تدريجيا خلال الصيف كلما اقتربنا من يوم الانقلاب الصيفى[1] Summer solstice ، وخلال الشتاء كلما اقتربنا من يوم الانقلاب الشتوى Winter solstice ، ولذلك فان أطول نهار وأقصر ليل فى السنة يكونان فى يوم ٢١ يونيو فى نصف الكرة الشمالى وهو تاريخ الانقلاب الصيفى، بينما يكون أقصر نهار وأطول ليل فى نفس النصف فى يوم ٢١ ديسمبر وهو تاريخ الانقلاب الشتوى . ويتزايد الفرق بينهما تدريجيا كلما بعدنا عن خط الاستواء نحو القطبين ، فنى يوم الانقلاب الصيفى مثلا يكون طول النهار عند خط الاستواء ١٢ ساعة ثم يزيد إلى ١٥ ساعة عند خط عرض ٤٠° شمالا و ٢٠ ساعة عند خط عرض ٦٣° و٢٤ ساعة عند الدائرة القطبية ، أى يكون هذا اليوم عندها كله نهارا ، ثم يتزايد عدد الايام التى تكون كلها نهارا حتى تصل إلى شهر كامل عند خط عرض ٦٧° وأربعة أشهر عند خط عرض ٦٨° ثم ستة أشهر عند القطب الشمالى نفسه ، وفى هذا الوقت يكون القطب الشمالى فى أقرب وضع له إلى الشمس ويدور هو والمنطقة المحيطة به باستمرار فى ضوء الشمس ، بينما يكون القطب الجنوبى فى أبعد وضع له عنها ويدور هو والمنطقة المحيطة به باستمرار فى المنطقة التى لا تصلها أشعة الشمس طول الستة أشهر ، ويحدث عكس ذلك تماما فى فصل الشتاء .

أما فى فصلى الربيع والخريف ، وهما فصلا الاعتدالين فتكون الشمس

---

(١) Solstice كلمة أصلها لاتينى من مقطعين هما sol ومعناها شمس و stice ومعناها يتوقف

متعامدة على خط الاستواء ، وعندئذ يكون الليل والنهار متساويين تقريبا في كل العروض ، ويكون طول كل منهما ١٢ ساعة ، ويحدث الاعتدال الربيعي (١) Spring Equinox عندما تصل الشمس إلى خط الاستواء أثناء هجرتها الظاهرية نحو الشمال، ويكون ذلك في ٢١ مارس بينما يحدث الاعتدال الخريفي Autumn Equinox عندما تصل الشمس إلى هذا الخط أثناء هجرتها الظاهرية نحو الجنوب . ويكون ذلك في ٢٢ أو ٢٣ سبتمبر .

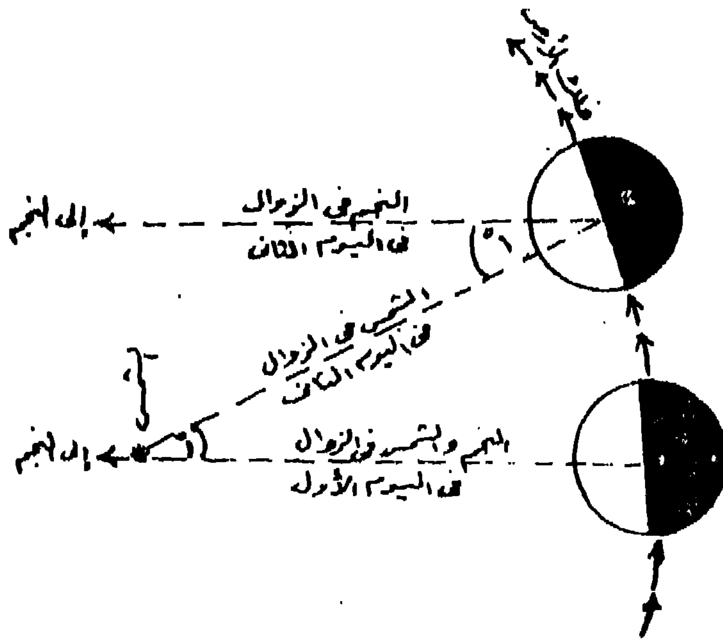
اليوم النجمي Sidereal day واليوم الشمسي Solar day :

قبل أن ننهي كلامنا على تتابع الليل والنهار نتيجة لدوران الأرض حول نفسها يحسن أن نحدد هنا المقصود بتعبيرين فلكيين مشهورين هما « اليوم النجمي » « واليوم الشمسي » ، فالمقصود باليوم النجمي هو المدة التي تنقضي بين ظهور نجم من النجوم في سمت الرأس في ليلتين متتاليتين ، وهي تمثل الوقت الذي تستغرقه الكرة الأرضية في الدوران حول محورها مرة واحدة ، ومقدارها ٢٣ ساعة و٥٦ دقيقة و٤ ثوان ، أما اليوم الشمسي فهو المدة التي تنقضي بين ظهور الشمس في أعلى وضع لها (الزوال) في يومين متتاليين، وهو يبلغ ٢٤ ساعة ، أي يزيد عن اليوم النجمي بمقدار ٣ دقائق و ٥٦ ثانية .

وعلى الرغم من أن اليوم النجمي هو الذي يبين المدة الحقيقية التي تستغرقها الأرض في إتمام دورة حول نفسها بالضبط فإنه لا يهم إلا الفلكيين ، أما اليوم الشمسي فهو الذي يهمنا في كل الدراسات وكل مظاهر الحياة لأنه يمثل بصدق العلاقة الواقعة بين دوران الأرض حول نفسها وبين حركة الشمس الظاهرية. أما السبب في زيادة طول اليوم الشمسي بمقدار ٣ دقائق و ٥٦ ثانية عن اليوم

---

(١) Equi = متساوي و nox = ليل ، والكلمة من أصل لاتيني ومعناها تساوي الليل والنهار .



شكل (٢٥) عودة الأرض إلى وضعها تحت الشمس

النجمى فيرجع إلى أنه فى الوقت الذى تدور فيه الأرض حول محورها فإن الشمس نفسها تكون سائرة فى رحلتها الظاهرية عبر البروج . ولذلك فإن الأرض تحتاج إلى زيادة دورتها قليلا بقدر درجة واحدة لكى تلحق بها وتصل إلى نفس الموقع الذى كانت فيه تجاهها مباشرة . والوقت الذى تستغرقه الأرض لإتمام هذه الزيادة هو ٣ دقائق و ٥٦ ثانية وبتكرار هذه العملية كل يوم فإن مجموع الزيادات التى تتجمع فى سنة كاملة يكون معادلا لدورة كاملة بالضبط من دوران الأرض حول نفسها . ومعنى ذلك أنه على الرغم من أن عدد أيام السنة كما نعرف هو ١/٤ ٣٦٥ يوم فإن عدد الدورات التى تتمها الأرض فعلا فى هذه المدة هو ١/٤ ٣٦٦ دورة .

---

(١) محمد عبد السلام الكردانى — « النجوم فى مسالكها » — ١٩٣٣ صفحة ١٦٥ .

اختلاف الزمن :

إن التغير الذي نلاحظه على الوقت كلما سافرنا شرقا أو غربا هو أحد النتائج المهمة لدوران الارض حول محورها من الغرب إلى الشرق بسرعة ثابتة أمام الشمس ، ويتوقف معدل تغير الزمن على السرعة التي تدور بها الارض حول محورها . ويمكن قياس هذه السرعه بالمسافات أو بالدرجات .
فحسابها بالمسافات يكون على أساس قسمة طول دائرة العرض على ٢٤ ساعة. ولكن نظرا لأن طول دوائر العرض يتناقص من خط الاستواء نحو القطب فان المسافة التي تقطعها أي نقطة على الدائرة الاستوائية أثناء دوران الارض حول نفسها من الغرب إلى الشرق تزيد عن المسافة التي تقطعها أي نقطة على أي دائرة عرضية أخرى في نفس الزمن، وتتناقص المسافة بالتدريج كلما اتجهنا نحو القطبين . فبينما تقطع أي نقطة على الدائرة الاستوائية مسافة ٤٠٠٧٧ كيلومترا (٢٥٠٠٠ ميل وهو طول هذا الخط) في ٢٤ ساعة أي بسرعة ١٦٧٠ كيلو مترا في الساعة فان أي نقطة على دائرة عرض ٦٠° ، التي يبلغ طولها حوالي نصف طول الدائرة الاستوائية تكون سرعتها ٨٤٠ كيلو مترا تقريبا في الساعة فقط ، لأن هذه الدائرة ستكمل دورتها كذلك في نفس المدة أي في ٢٤ ساعة. أما عند القطب نفسه فان السرعة تكاد تنعدم ، ولو فرض أن شخصا كان واقفا في هذه النقطة لمدة ٢٤ ساعة فكل ما سيحدث له أنه سيدور حول نفسه دورة واحدة في هذه المدة .

أما حساب السرعة بالدرجات فيعتمد على أساس أن كل دائرة من دوائر العرض مقسمة إلى ٣٦٠° طولية وأن كل دائرة منها تكمل دورة كاملة كل ٢٤ ساعة . ومعنى ذلك أن سرعتها تكون ١٥° في الساعة أو درجة واحدة في كل ٤ دقائق ، وهي سرعة واحدة على كل دوائر العرض ولذلك فانها هي

المستخدمة فى تحديد الزمن وفى حساب الفروق الزمنية بين أى مكان والاماكن الموجودة فى شرقه والاماكن الموجوده فى غربه حتى ولو كانت واقعة فى عروض مختلفة وذلك على أساس إضافة ساعة لكل ١٥° طولية أو ٤ دقائق لكل درجه واحدة إن كنا متجهين نحو الشرق أو طرحها إن كنا متجهين نحو الغرب.

التوقيت المحلى والتوقيت القياسى :

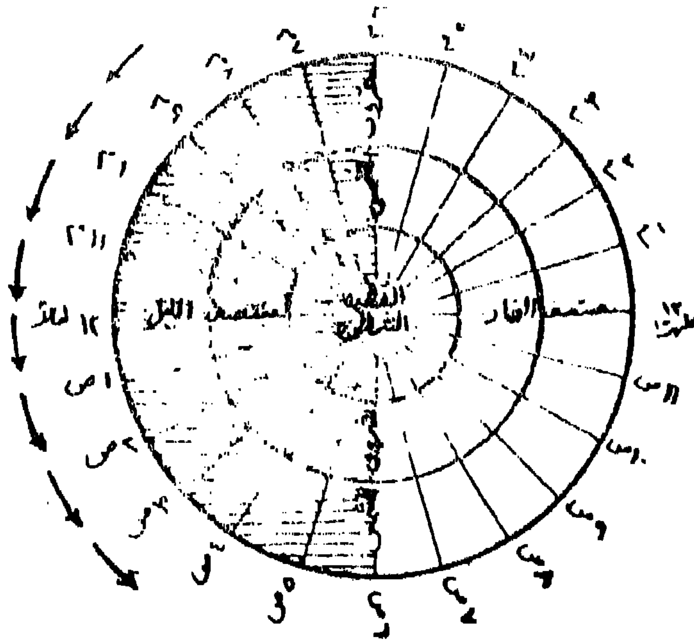
ولكل مكان على سطح الارض توقيت محلى خاص به . ويحسب هـذا التوقيت بالنسبة لتوقيت جرينتش بعد أن يضاف إليـه أو يطرح منه الفرق الزمنى المناسب لخط طول المكان شرق خط جرينتش أو غربه . ويحسب هذا التوقيت عادة على أساس الوقت الذى تكون فيه الشمس فى أعلى وضع لها فى السماء وهو وقت الظهر أو الزوال . ويكون هذا الوقت دائما واحداً فى كل الاماكن الواقعة على خط طول واحد ، وهـذا هو السبب فى تسمية خطوط الطـول باسم Meridians . فهذه الكلمة مأخوذة من أصل لاتينى هـو Meridies ومعناها Mid – day أى الظهر أو الزوال .

ولا يستخدم التوقيت المحلى غالبـا إلا لتحديد مواقيت الصلاة ومواقيت الصيام والافطار فى البلاد الإسلامية ، وفيما عدا ذلك فإنه من غير العملى أن تستخدم كل مدينة أو كل قرية فى الدولة الواحدة توقيتها المحلى فى شئون الحياة العامة لما يترتب على ذلك من اضطراب فى تنسيق أعمـال الدولة ومواصلاتها الداخلية والخارجية ، ولذلك فقد رؤى توحيد التوقيت فى نطاقات متتابعة ، أو فى الدولة الواحدة . وأصبح هناك ما يعرف بالتوقيت (أو الزمن) القياسى Standard time . وبمقتضاه اتفق على تقسيم سطح الكرة الارضية إلى نطاقات طولية يشغل كل منها ١٥° طولية ابتداء من خط جرينيتش ، بحيث يستخدم فى كل نطاق منها توقيت موحد هو التوقيت الزوالى لأحد خطوط الطول التى

تتحرك بسرعة [illegible] ومعنى ذلك أن الفرق الزمني بين أي نطاق والنطاق المجاور له هو ساعة واحدة (١). ولكن على الرغم من أن هذا التوقيت القياسي هو المتفق عليه دوليا فإن كثيراً من الدول لا تتقيد به لأهداف قومية أو لأسباب تتعلق بمساحتها أو موقعها، والمعتاد هو أن تختار الدولة خطوط طول عاصمتها أو احدى مدنها الاخرى أو أحد مراصدها الكبرى أساسا لتوقيتها الموحد. فمصر مثلا تسير على توقيت خط طول مرصد حلوان قرب القاهرة وفرنسا تسير على توقيت خط طول مرصد باريس وبريطانيا تسير على جرينتش والهند على توقيت خط طول مرصد مدراس. وهكذا، إلا أن الدول ذات الامتداد الشاسع بين الشرق والغرب مثل الاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة وكندا وجدت أن توقيتا قياسيا واحدا ليس كافيا لما فقسمت نفسها إلى أكثر من نطاق زمني واحد، سواء على أساس النطاقات القياسية المتفق عليها (كل ١٥° طولية) أو على أساس أي تقسيم جغرافي آخر. ففي الولايات المتحدة توجد أربعة نطاقات زمنية، لكل منها توقيته القياسي، ففي الشرق يستخدم توقيت خط طول ٧٥° غربا، وفي الوسط توقيت خط ٩٠° غربا، وفي إقليم الجبال توقيت خط ١٠٥°، وفي الغرب توقيت خط ١٢٠°. ويوجد في الاتحاد السوفيتي أكبر عدد من النطاقات الزمنية وهو أحد عشر نطاقا، وتأتي بعدها كندا وبها سبعة نطاقات، ويطبق مثل هذا التقسيم كذلك في المحيطات الواسعة، حيث يقوم البحارة والمسافرون بتعديل ساعاتهم باستمرار كلما انتقلت الباخرة من نطاق زمني إلى النطاق المجاور له، أي كل ١٥° طولية (شكل ٢٦).

---

(١) اتفق على تحديد الأوقات القياسية بهذه الطريقة في مؤتمر دولي عقد خصيصا لبحث هذا الموضوع في واشنطن سنة ١٨٨٤.



شكل (٢٦) نطاقات الزمن

خط التاريخ الدولي International Date Line :

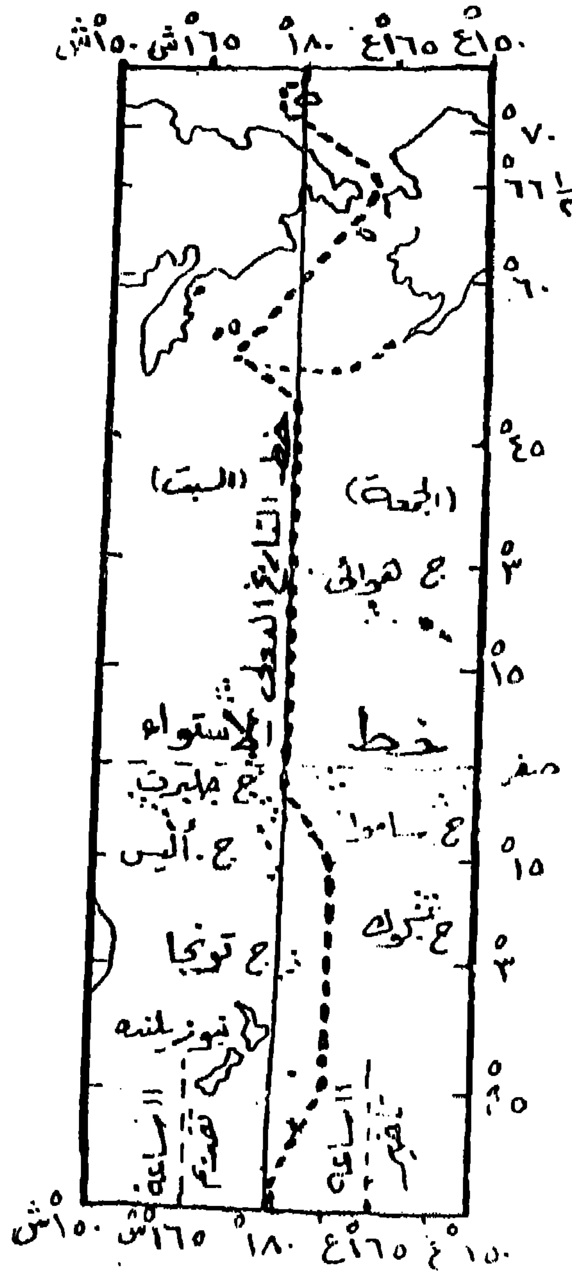
المقصود بهذا الخط هو خط الطول الذي يتغير عنده التاريخ ، إما بتقديم يوم كامل أو تأخير يوم كامل من التاريخ السابق لعبوره . وقد اتفق دوليا [١] على أن خط طول ١٨٠° الذي يقطع المحيط الهادي من أقصى شماله إلى أقصى جنوبه هو أصلح خط لهذا الغرض ، حيث أن الفرق الزمني بين توقيته وتوقيت خط جرينتش يبلغ في مجموعه ٢٤ ساعة اى يوما كاملا، لأن توقيته يسبق توقيت جرينتش بمقدار ١٢ ساعة لو حسبناها بالسير شرقا ، ويتأخر عنه بمثلها لو حسبناه بالسير غربا) ولذلك فإن المسافرين عبر المحيط الهادى يضطرون لتغيير اليوم أو لا بأوله كما هو عند عبورهم لهذا الخط على

(١) تم هذا الاتفاق في مؤتمر واشنطن سنة ١٨٨٤

حسب اتجاههم عند عبوره ، فان كانوا متجهين نحو آسيا فانهم يسقطون من حسابهم يوما كاملا فاذا كان وصولهم إلى هذا الخط يوم جمعة فانهم يسقطون يوم السبت و ينتقلون مباشرة إلى يوم الأحد ، أما إن كانوا متجهين نحو أمريكا فانهم يكررون يوم الجمعة نفسه دون تغيير .

ولقد كان عدم تنبه بحارة ماجلان الذين بقوا على قيد الحياة بعد رحلتهم حول العالم إلى هذه الحقيقة هو السبب فى حيرتهم عند ما وصلوا إلى برشلونه فى أسبانيا فقد فوجئوا بأن يوم وصولهم إلى أسبانيا كان يوم ٨ سبتمبر سنة ١٥٢٢ ، فى حين أنهم كانوا يعتقدون بحسابهم أنه يوم ٧ سبتمبر . ولو أنهم تنبهوا إلى ضروره تغيير التاريخ عند عبورهم لخط طول ١٨٠° لما حدث هذا الاختلاف .

ولما كان خط ١٨٠° يمر فى بعض المناطق فى وسط بعض الاراضى والجزر التى تتبع دولا معينة فقد وجد أنه من المصلحة إجراء بعض التعديلات المحلية على اتجاه خط التاريخ الدولى حتى يطبق فى مثل هذه الجزر أو الاراضى نفس التاريخ المطبق فى الدولة التى تتصل بها أو التى تكون قريبة منها ، ولهذا السبب نجد أن هذا الخط يتقوس نحو الشرق فى منطقة بوغاز بيرنج لكى يكون التاريخ المطبق فى الطرف الشرقى لسيبيريا هو نفس التاريخ المطبق فى الجانب الآسيوى . وإلى الجنوب من ذلك ينحرف الخط مرة أخرى نحو الغرب لكى يكون التاريخ فى كل جزر ألوشيان هو نفس تاريخ الجانب الأمريكى . وإلى الجنوب من خط الاستواء يتزحزح الخط نحو الشرق بنحو ٧ ١/٢ طولية ، لكى يكون التاريخ فى مجموعات جزر فيجى وتونجا وغيرها من الجزر الموجودة فى نفس المنطقة هو نفس التاريخ الموجود فى نيوزيلنده (أنظر شكل ٢٧) .



شكل (٢٧) خط التاريخ الدولي

الفصل الرابع

أصل الأرض

تمهيد :

كان موضوع « أصل الأرض » من أعقد الموضوعات التي واجهت المفكرين منذ أن بدأت النهضة الأوروبية في القرن الخامس عشر .

وعلى الرغم من التقدم العلمي الحديث وكثرة ما كتب في هذا الموضوع فانه مازال ، وسيظل دائماً ، يتحدى الفكر البشرى . وقد ظهرت خلال القرون الثلاثة الأخيرة آراء ونظريات عديدة حاولت الوصول إلى تفسير معقول للطريقة التي نشأ بها النظام الشمسي عموما وكوكب الأرض بصفة خاصة . وعلى الرغم من أن بعض النظريات قد استندت إلى بعض الحقائق العلمية الحديثة فان كل النظريات دون استثناء قد عجزت عن تفسير بعض الحقائق المهمة الخاصة بالنظام الشمسي ، ولم تظهر حتى الآن نظرية يمكنها أن تدعى بأنها نجحت في إعطاء التفسير المقنع لكل الظاهر المعروفة عن هذا النظام ، والواقع أن أى نظرية من النظريات لابد أن تنهار او أنها تعارضت مع آية حقيقة من الحقائق الثابتة ، مهما كانت الأسس العلمية التي استندت إليها هذه النظرية ، ومن أمثلة الحقائق المهمة التي يجب على آية نظرية أن تكون قادرة على تفسيرها ما يأتي :

(١) دوران كل الكواكب السيارة حول الشمس في اتجاه واحد ، ودورانها حول نفسها في اتجاه واحد كذلك .

(٢) وجود الكواكب كلها في مستوى واحد .

(٣) دوران أحد أقمار المشترى وأحد أقمار زحل في اتجاه مضاد لإتجاه دوران بقية الأقمار .

(٤) تقاطع فلك نبتون مع فلك بلوتو ، على الرغم من أن أفلاك بقية الكواكب متوازية .

(٥) كون المسافات التي تفصل ما بين الكواكب تتبع متوالية حسابية تقريباً بحيث تكون المسافة بين أي كوكب وجاره الأبعد منه عن الشمس ضعف المسافة بينه وبين جاره الأقرب إليها .

(٦) البطء الشديد لدوران الشمس حول نفسها، بعكس دوران الكواكب حول نفسها ، على الرغم من أن أغلب النظريات توحي بأن هذا الدوران كان يجب أن يكون أسرع من ذلك بكثير .

نظريات تفسير نشأة المجموعة الشمسية ونشأة الأرض :

لن نتمكن هنا من ذكر كل النظريات التي وردت في هذا الموضوع ، وسنكتفي بعرض مختصر لأهم النظريات وأشهرها . وسنقسمها على أساس الافتراضات الرئيسية التي بنيت عليها إلى مجموعتين هما :

اولا :ـ نظريات تفترض أن الشمس نشأت من جزئيات صلبة أو غازية كانت تسبح منذ الأزل بكثرة هائلة في الفضاء وتجمعت بشكل سحب ضخمة من نوع السدم ، ثم انفصلت الكواكب عنها في مرحلة تالية. وسنطلق على هذه النظريات تعبير «نظريات الجزئيات الكونية والسدم» ومن أشهرها:

١ ـ نظرية الفيلسوف الألماني كانت Imanuel Kant سنة ١٧٥٥ .

٢ ـ نظرية العالم الفرنسي لابلاس Laplace سنة ١٧٩٦، وهي التي اشتهرت باسم النظرية السديمية .

٣ ـ النظرية الحديثة التي اقترحها الباحث الامريكي ويبل L. Whipple سنة ١٩٤٨ وأطلق عليها اسم « نظرية سحابة الغبار » .

ثانيا :ـ نظريات تفترض أن الشمس كانت موجودة منذ الأزل ثم انفصلت عنها الكواكب بطريقة أو بأخرى، ومن أهمها النظريات التي تفترض

(مع اختلاف التفاصيل) أن انفصال الكواكب قد حدث نتيجة لحدوث مد شديد فى سطح الشمس بسبب جاذبية نجم آخر أضخم منها أثناء مروره على مقربة منها .

وسنطلق على هذه النظريات عموما اسم « نظريات المد الغازى » أو « المد النجمى » ، ومن أشهرها النظريات الآتية .

١ ـ نظرية الكويكبات Planitesimal Hypothesis ، التى اقترحها العالمان الأمريكيان تشمبرلين Chamberlain ومولتون Moulton سنة ١٩٠٥ .

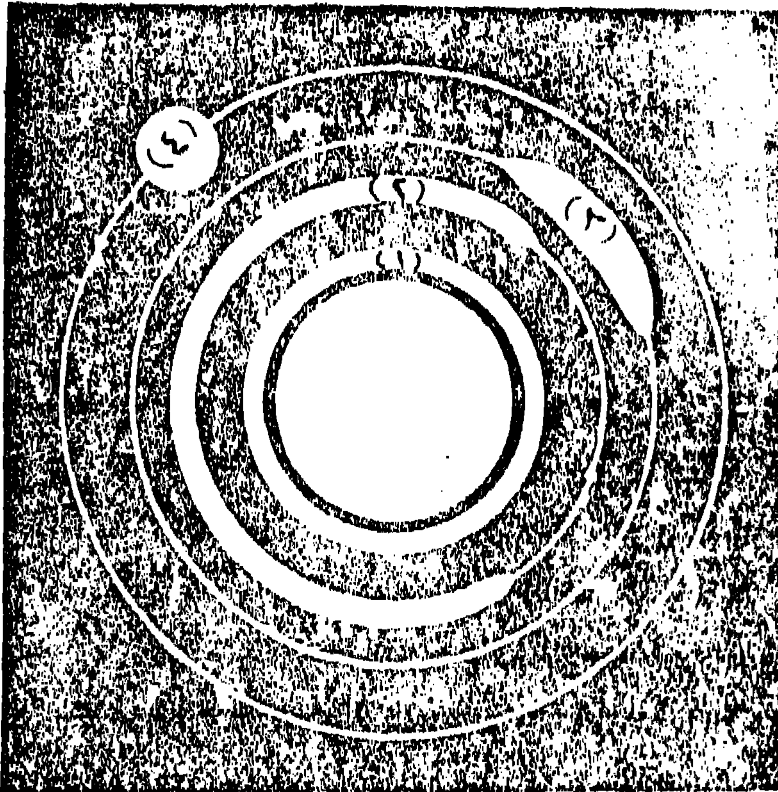
٢ ـ النظرية التى أوردها العالمان البريطانيان جينز وجيفريز Jeans and Jeffreys ، وهى فى الواقع عبارة عن تعديل لنظرية الكويكبات بقصد تجنب بعض الانتقادات التى وجهت إليها .

أولا ـ نظرية الجزيئات الكونية والسدم :

١ ـ نظرية كانت :

يقول كانت إن المجموعة الشمسية نشأت فى الأصل من جزيئات صلبة كانت تسبح منذ الأزل فى الفضاء بكميات مهولة وكانت الجزيئات فى حركة مستمرة مما أدى إلى كثرة تصادمها وتزايد حرارتها حتى تحولت بالتدريج إلى كتلة سديمية ملتهبة ، ثم أخذت هذه الكتلة تنكمش ويصغر حجمها بقوة الجاذبية ، كما بدأت فى نفس الوقت تأخذ حركة دورانية حول نفسها . وكانت سرعة دورانها صغيرة فى أول الأمر ولكنها أخذت فى التزايد بسبب استمرار تناقص حجمها حتى أصبحت هذه الكتلة خاضعة لقوتين متعارضتين ، الأولى هى قوة جاذبيتها والثانية هى قوة الطرد التى نشأت من دورانها حول نفسها وقد أحدث قوة الطرد فى التزايد تبعا لتزايد سرعة الدوران مما أدى إلى انبعاج الحزام الأوسط الخارجى للكتلة ، وكان هذا الانبعاج شديدا لدرجة أدت إلى انفصال حلقات متتالية منه واندفاعها بعيدا من الكتلة الأصلية

ووصلت كل حلقة منها إلى البعد الذى تتساوى عنده قوة الطرد التى أحدثتها مع قوة جذب الكتلة لها ، وبهذه الطريقة توزعت الحلقات حول هذه الكتلة وبدأت تدور حول نفسها ، وقد أدى دورانها حول نفسها إلى اندماجها وتكورها فتكونت منها الكواكب ، وقد ساعدتها على ذلك أنها لم تكن قد تصلبت بعد بل كانت لاتزال فى حالة شبه غازية، وقبل أن يتم تصلبها انفصلت عنها بنفس الطريقة حلقات صغيرة تكونت منها الأقمار .



شكل (٢٨) تصور مبسط لنظرية كانت

(١) حلقة حديثة الانفصال (٢) حلقة بدأت تلتئم

(٣) حلقة بدأت تتكور (٤) كوكب تم تكوره

ولكن هذه النظرية واجهت اعتراضات كثيرة أهمها (١) أنها تتعارض مع الحقيقة المعروفة عن البطء الشديد لدوران الشمس حول نفسها ، فلو سلمنا بأن سرعة دوران الكتلة الأصلية حول نفسها كانت تتزايد باستمرار بسبب تناقص حجمها (نتيجة لاندماجها وانفصال الكواكب عنها) فقد كان المفروض أن تكون السرعة الحالية لدوران الشمس حول نفسها كبيرة جداً ، وهذا يخالف الواقع ، (٢) أنها لا تعطى تفسيراً معقولاً لتولد الحركة الدورانية فى الكتلة السديمية ، إذ لا يعقل أن تكون عمليتى التصادم والتجاذب بين جزيئات المادة الكونية هى السبب فى تولد هذه الحركة .

٢ ـ نظرية لابلاس (السديمية) Nebular Hypothesis :

ليست هذه النظرية فى الواقع إلا تطويراً لنظرية « كانت » . وأهم فارق بينهما أن لابلاس لا يجد داعياً للافتراض بأن المادة الأزلية الأولى كانت عبارة عن جزيئات صلبة باردة ثم تحولت إلى سديم ملتهب ، وإنما يفترض أنها كانت منذ البداية سديماً ضخماً يدور حول نفسه ، وبهذا الافتراض تجنب لابلاس أحد الانتقادات التى وجهت إلى تفسير كانت لتكوين السديم واكتسابه الحركة الدورانية حول نفسه ، ومع ذلك فان نظرية لابلاس واجهت نفس النقد الذى واجهته نظرية كانت بخصوص عجزها عن تفسير بطء الحركة الدورانية للشمس حول نفسها . فلو فرضنا صحة ما افترضه لابلاس من أن السديم الأزلى كان يدور حول نفسه منذ البداية فلابد أن سرعة دورانه كانت ستزداد باستمرار نتيجة لتناقص حجمه ، وبناء على ذلك فقد كان المفروض أن تكون سرعة دوران الكتلة التى بقيت بعد انفصال الكواكب والتى كونت الشمس كبيرة ، وهذا يخالف الحقيقة .

٣ ـ نظرية سحابة الغبار Dust - Cloud Hypothesis :

وهي من أحدث النظريات التي وردت في تفسير نشأة المجموعة الشمسية . وقد اقترحها الباحث الأمريكي ويبل Fred L. Whipple في سنة ١٩٤٨[1]. وهي من أساسها امتداد لنظرية الجزيئات الكونية التي جاء بها كانت والنظرية السديمية التي جاء لابلاس ، ولكنها تتميز عنها بأن صاحبها حاول أن يدعمها ببعض نتائج البحث العلمي الحديث ، وهو ما لم يكن متوفرا لكل من كانت ولابلاس .

والحقيقة العلمية التي بنى ويبل عليها نظريته هي أن الفضاء الكوني ليس فارغا تماما كما كان يظن من قبل ، ولكنه يحتوي على كميات من غبار ميكروسكوبي مبعثر على مسافات متباعدة جدا لدرجة يبدو معها الفضاء وكأنه فارغ تماما ، ولكن بالنظر إلى ضخامة هذا الفضاء بصورة لا يتصورها العقل فان الغبار المبعثر فيه يكفي لبناء ملايين النجوم ، حتى أنه ليقدر مثلا أن الغبار المبعثر في سكة التبانه وحدها يكفي لبناء مائة ألف مليون نجم في حجم الشمس . وجزيئات هذا الغبار متناهية في الدقة ، ولا يزيد قطر الواحدة منها عن $\frac{١}{١٠٠٠٠٠}$ من البوصة ، ومع ذلك فقد تبين من تحليل بعضها أنها مكونة من معظم العناصر المعروفة لنا ، ومنها الأيدروجين والهليوم والأكسوجين والنيتروجين والكربون وغيرها ، كما تبين أنها تتجمع أحيانا ببطء شديد تحت ظروف خاصة فتتكون منها في بعض المواضع سحب ضخمة جدا ، وأصلح الأماكن لتجميعها بهذا الشكل هي الأماكن التي يضعف فيها ضوء

(1) Fred L Whipple; The Dust Cloud Hypothesis, in Scientific American Incorporation, May 1984

النجوم ، لأن الضغط الضوئي يستطيع (على الرغم من ضآلته المتناهية) أن يحرك الغبار الميكروسكوبي بعيدا عن مصدر الضوء .

وعلى أساس هذا الرأى فان جزيئات الغبار الكونى تميل للتجمع ببطء شديد حيثما يضعف الضوء ، وتتكون منها فى البداية سحب صغيرة ، ولكن هذه السحب لا تلبث أن تنمو بسرعة لأن ظلها يساعد على سرعة تجمع الغبار حولها ، فاذا لم يطرأ على هذه السحب أى طارىء يشتت غبارها كأن يمر بوسطها نجم ضوؤه بالغ الشدة فانها تستمر فى النمو ويتزايد حجمها كما تتزايد فى نفس الوقت درجة كثافتها وجاذبيتها حتى تصل إلى درجة يصبح معها ضغط الضوء عاجزا عن تشتيتها ، ويرى ويبل أن السحابة التى تصل إلى هذه الحالة يكون غبارها كافيا لبناء نجم فى حجم الشمس وتكون منتشرة فى منطقة قطرها حوالى ٩٠٠٠ مليون كيلومتر (وهو ما يعادل البعد بين الأرض والشمس ٦٠ ألف مرة) . وفى هذه الحالة يبدأ ترسيب غبار السحابة نحو مركزها بقوة جاذبيتها ، وتكون عملية الترسيب بطيئة فى أول الأمر ولكنها تتزايد تدريجيا كلما انكمشت السحابة واندمجت جزيئاتها ، حيث أن الاندماج يؤدى إلى تزايد مستمر فى درجة حرارتها حتى تتحول بمرور ملايين السنين إلى نجم ملتهب . وهذه هى الطريقة التى تكونت بها الشمس . وقد حافظت الشمس على حرارتها نتيجة للتفاعلات الذرية القوية التى أخذت تتولد فى باطنها بسبب حرارته البالغة الشدة .

أما عن دوران الشمس حول نفسها وبطء هذا الدوران فيفسرهما ويبل بأن هذا الدوران لم يبدأ إلا فى المراحل النهائية لتكوين الشمس ، ففى المراحل الأولى لعمليات الترسيب نشأت فى السحابة تيارات كثيرة متعارضة لم تساعد على تكوين أى حركة دورانية ، ولكن هذه التيارات أخذت تتناقص

فاختفت معظم التيارات المتعارضة ولم يبق منها إلا تيارات رئيسية متجهة نحو المركز ، وهذه التيارات هي التي ساعدت على بدء الحركة الدورانية البطيئة .

ويرى ويبل أن الكواكب السيارة قد نشأت من نفس سحابة الغبار التي نشأت منها الشمس وذلك في المراحل الأولى لعمليات الترسيب . ففي هذه المراحل انسلخت من هذه السحابة سحابات صغيرة ، وكانت هذه السحابات منتشرة على طول التيار الرئيسي في السحابة الكبرى ، فكانت لذلك مرتبة على صف واحد تقريبا وقد أخذت كل سحابة منها تنمو باجتذاب غبار جديد إليها ، كما بدأت كل منها تكتسب حركة دورانية حول نفسها وحول مركز السحابة الكبرى (بتأثير دورانها حول نفسها) ، وكانت سرعة دوران كل منها متناسبة مع حجمها ومع مدى تأثرها بتيارات هذه السحابة . وقد تخلفت السحابات الصغيرة في أماكنها بعد أن انحسرت عنها السحابة الكبرى نتيجة لانكماشها السريع ، وعندما كانت هذه السحابة تنحسر عن إحدى السحابات الصغيرة كانت الأخيرة تبدأ في التحول إلى كوكب مستقل ، والمفروض بناء على هذا ، أن يكون الكوكب بلوتو ، وهو أبعد الكواكب عن الشمس ، هو أول الكواكب ظهورا ثم جاءت بعده الكواكب الأقرب فالأقرب وهكذا.

وكما أن تزايد سرعة الترسيب والانكماش في السحابة الكبرى هو المسئول عن اشتداد حرارتها والتهابها فان نفس هاتين العمليتين قد نتج عنها التهاب الكواكب ، ومع ذلك فقد كانت حرارتها أقل بكثير من حرارة السحابة الأصلية ، ولهذا فلم تحدث بها تفاعلات ذرية تؤدى إلى تجدد التهابها واستمرار انصهارها ، كما حدث في السحابة الأصلية ، فأخذ سطحها يبرد بالتدريج وتحولت إلى أجسام معتمة بينما بقى باطن بعضها محتفظا بحرارته .

وعلى أساس هذه النظرية فان ويبل يرى أن العمليات التي أدت إلى تكوين

المجموعة الشمسية ما زالت مستمرة حتى الآن لتكوين نظم نجمية جديدة فى الكون ، كما يعتقد أن هذه النظرية يمكنها أن تفسر كثيرا من الحقائق المعروفة عن المجموعة الشمسية مثل بطء دوران الشمس حول نفسها وتوزيع الكواكب حولها فى مستوى واحد .

نظريات المد الغازى :

من الواضح أن البحث عن أصل المجموعة الشمسية كلها أمر بالغ التعقيد، ولذلك فان بعض الباحثين رأوا أن يختصروا المشكلة وأن يفترضوا أن الشمس نفسها كانت موجودة منذ الأزل وأن يحاولوا تفسير كيفية انفصال الكواكب السيارة عنها . وأشهر النظريات التى وردت فى هذا المجال النظرية التى اقترحها العالمان الأمريكيان تشمبرلين ومولتون ، والتى اشتهرت باسم « نظرية الكويكبات » ، وملخصها كما يلى :

نظرية الكويكبات : يقول صاحبا هذه النظرية وهما تشمبرلين ومولتون أن الكواكب السيارة نشأت من أجزاء من سطح الشمس كانت قد تمددت وانبعجت عندما مر بالقرب منها نجم آخر أكبر منها ، فقد أدت قوة جاذبية هذا النجم إلى حدوث مد فى سطح الشمس المقابل له ، وحدثت فى نفس الوقت انفجارات هائلة فى سطح الشمس بسبب التفاعلات الذرية التى تحدث بداخلها وقد أدت قوة الجاذبية النجمية مع قوة الطرد الناتجة عن الانفجارات المذكورة إلى انفصال الأجزاء الممتدة عن الشمس ولكنها ظلت مع ذلك متأثرة بجاذبيتها أما النجم الآخر فقد كان تأثيره آخذا فى التناقص بسبب ابتعاده ، ومع ذلك فقد ظلت جاذبيته تؤثر بعض الوقت تأثيرا محدودا فى الأجزاء التى انفصلت من الشمس ، وهذا التأثير هو الذى أعطى للاجزاء المنفصلة حركة دورانية حول الشمس وحول نفسها . ولم تكن هذه الأجزاء قد تصلبت بعد ولذلك

فانها تفككت أثناء دورانها وتحولت إلى أجزء صغيرة بدأ كل منها ينفصل بعيدا عن الآخر، وتكونت منها كويكبات عديدة إلا أن الكويكبات الكبيرة استطاعت بقوة جاذبيتها أن تجمع حولها بالتدريج الكويكبات الأصغر إلى أن تكونت منها فى النهاية الكواكب السيارة المعروفة ومنها الأرض .

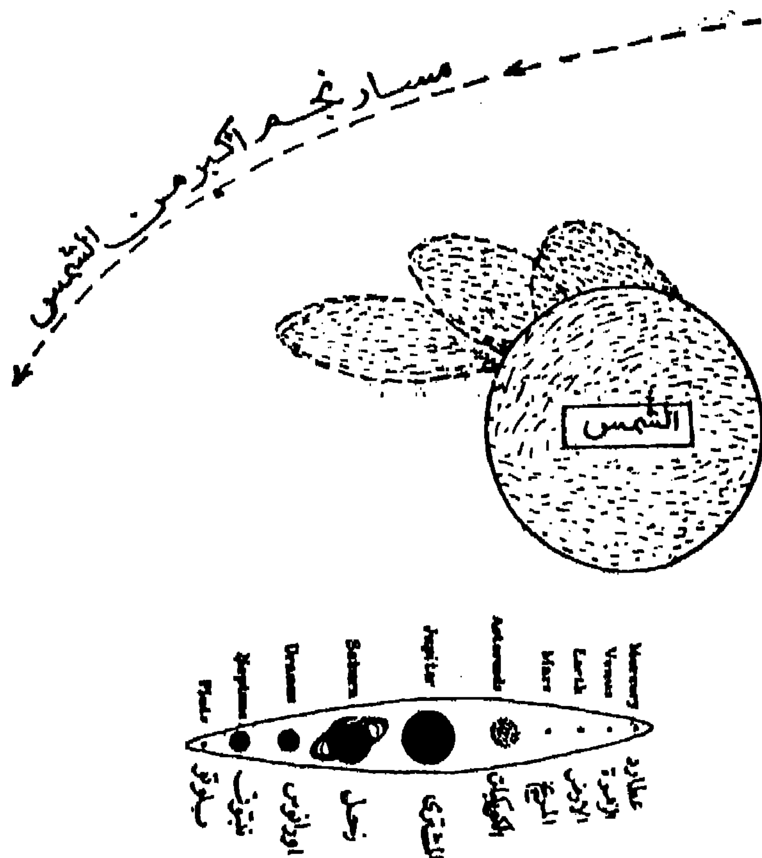
وكما هى الحال بالنسبة لباقى النظريات التى تعرضت لبحث هذا الموضوع فقد تعرضت هذه النظرية لانتقادات كثيرة لأنها عجزت عن تفسير بعض الحقائق المهمة مثل وجود الكواكب السيارة كلها فى مستوى واحد، وتناسب الأبعاد التى تفصلها عن بعضها وعن الشمس. كما عجزت عن تفسير تزايد كثافة المواد التى تتكون منها الأرض كلما تعمقنا نحو مركزها ، فلو أنها نشأت كما تقول النظرية من تجمع الكويكبات الصغيرة حول أحد الكويكبات الكبيرة فانها لن تتمكن من إعطاء تفسير مقنع لترتيب المواد التى يتكون منها كوكب مثل الأرض الذى تتزايد كثافة مواده بوضوح كلما تعمقنا نحو مركزه .

نظرية جيمس جينز J. Jeans وهارولد جيفريز H. Jeffreys :

هذه النظرية ليست فى الواقع إلا تعديلا لنظرية الكويكبات ، ففى سنة ١٩٢٩ حاول هذان العالمان البريطانيان أن يتجنبا بعض أوجه النقص فى هذه النظرية ، فقالا أنه ليس هناك داع للافتراض بأن الأجزاء التى انفصلت عن الشمس كانت صغيرة فى أول الأمر وأنها كانت قد بردت قبل أن تتجمع لتكون الكواكب ، وافترضنا بدلا من ذلك أن يكون قد انفصل عن الشمس لسان طويل يصل إلى البعد الذى يدور فيه فلك أبعد الكواكب عنها وهو نبتون ، وقد كان هذا اللسان سميكا فى الوسط ويتناقص سمكه نحو الطرفين، فلما تقطع بعد ذلك وتكونت منه الكواكب كان من الطبيعى أن يكون أكبر الكواكب فى الوسط وأن تتوزع حوله الكواكب الأصغر بالترتيب تقريباء

وهذا يتفق إلى حد كبير مع ما هو معروف من توزيع الكواكب السيارة حول الشمس (شكل ٢٩) .

وعلى الرغم من أن هذا التعليل يمكن أن يفسر عددا من المظاهر العامة للمجموعة الشمسية ومنها توزيع الكواكب السيارة حول الشمس على حسب أحجامها فانه ظل عاجزا عن تفسير بعض الحقائق الأخرى المعروفة، ومن أهمها البطء الشديد لدوران الشمس حول نفسها ثم الاختلاف الكبير بين تركيب



شكل (٢٩) تصور تقريبي للسان الذي انفصل من الشمس كما يراه جينز وجيفريز ، وعلاقة ذلك بتوزيع الكواكب حسب أحجامها .

الشمس وتركيب معظم الكواكب، فالشمس مكونة عموما من عناصر غازية خفيفة مثل الأيدروجين والهيليوم بينما تتركب الأرض ومعظم الكواكب الأخرى من مواد معدنية لها ثقل ذرى كبير مثل الحديد والألومينيوم. ولذلك فقد تعرضت آراء جينز وجيفريز الكثير من النقد وظهرت غيرها آراء أخرى كثيرة مازالت هي الأخرى تتعرض للنقد، ولا يتسع المجال للتوسع في بحثها(١).

عمر الكرة الارضية :

على الرغم من أن مشكلة تحديد الطريقة التي نشأت بها الأرض مازالت شديدة التعقيد فإن مشكلة تحديد عمر هذه الأرض ربما تكون أقل تعقيدا منها بكثير . ولذلك لأن الأساليب الحديثة المستخدمة في تحديد عمر المواد القديمة قد ساعدت على تحديد عمر أقدم صخور القشرة الارضية، ولو بصورة تقريبية، ومن أهم الاساليب التي استخدمت لهذا الغرض أسلوب التحليل الراديومى ، وعلى أساس الابحاث التي أجريت حتى الآن يقدر الجيولوجيون أن عمر أقدم صخور القشرة الارضية يبلغ حوالى ثلاثة آلاف مليون سنة . ومما لا شك فيه أن التطورات التي مرت بها الكرة الارضية نفسها قبل أن تتكون هذه الصخور قد استغرقت بضعة ملايين أخرى من السنين . وعلى هذا الاساس فان بعض الكتاب يقدرون المدة التي انقضت منذ أن بدأت المرحلة الاولى لتكوين

(١) لمزيد من القراءة في هذا الموضوع راجع :
محمد متولى — وجه الأرض — القاهرة ١٩٧١ — الفصل الأول .
حسن أبو العينين — كوكب الأرض — الاسكندرية ١٩٧٤ — الفصل الثاني .
جوده حسنين — معالم سطح الارض — القاهرة ١٩٧١ — الفصل الأول .
W M. Smart - The Origin of The Earth Pelican, 1959.
F Hoyle - Nature of the Universe London, 946.

الارض حتى الآن بنحو ١٢ ألف مليون سنة [١] .

ولقد أظهرت الأبحاث التي أجريت على أقدم صخور القشرة ، (أى الصخور التي يبلغ عمرها ثلاثة آلاف مليون سنة) أن بعض هذه الصخور من نوع الصخور الرسوبية وأن بعضها يحتوى على رواسب حصوية وعلى ظاهرات أخرى تدل على أنها رواسب مائية [٢] .

وفي هذا دليل على أن مياه البحار كانت موجودة منذ ذلك الوقت على سطح الارض، أى أن البحار كانت هي الاخرى معاصرة لتكوين أقدم الصخور[٣].

عمر الحياة على الارض :

على الرغم من أن صخور القشرة الارضية ومياه المحيطات كانت قد وجدت بالفعل منذ حوالى ثلاثة آلاف مليون سنة ، كما سبق أن ذكرنا ، فان الحياة لم تبدأ إلا بعد ذلك بمئات الملايين من السنين ، ولكن ليس من السهل تحديد زمن ظهورها لأول مرة في أبسط صورها ، وذلك لعدم وجود أى حفريات يمكن أن تساعد على تحديد هذا الزمن . وترجع أقدم الادلة الحفرية التي تم العثور عليها في الصخور القديمة إلى حوالى ٥٠٠ مليون سنة ، ومنذ ذلك الوقت ظهرت الكائنات ذات الخلية الواحدة وهي الأميبا ، وليست هذه الكائنات بالتأكيد هي بداية الحياة لأنها تعتبر كائنات متطورة جدا بالنسبة لكائنات أخرى ظهرت وتطورت قبل ذلك خلال مئات الملايين من السنين حتى وصلت إلى الاميبا . وكانت هذه الكائنات الحية عبارة عن فيروسات Viruses . ويعتبر التطور الذى تم من الفيروسات إلى الاميبا تطورا ضخما جدا لدرجة أن الكتاب يرون أنه لا يقل إن لم يزد في خطورته وفي تعقيداته عن التطور الذى حدث من مرحلة الاميبا إلى الانسان ، فعلى الرغم من أن الاميبا ذات

---

(١) Fred L. Whipple, - The Origin of the Earth - an Article in - The World of Geology - ed by L. Don Leet 1961, Mc. Graw — Hill. P. 21.

(٢) M. Grant Gross, - Oceanography - 196 , P 8., Merril. Physical Series, Colombus Ohio.

خلية واحدة إلا أنها تعتبر فى الواقع كائنا حيوانيا متكاملا ، وأنها تعتبر كذلك الوحدة الأصلية التى تطورت منها كل الكائنات الحيوانية حتى وصلت إلى أرقى الدرجات المعروفة فى الوقت الحاضر . وبنفس الطريقة جاء تطور الحياة النباتية على الأرض ، فعلى الرغم من أن الفطريات Algae هى أقدم الكائنات الحية النباتية المعروفة وأبسطها فلابد أنها تطورت خلال عشرات الملايين من السنين قبل ظهورها من كائنات نباتية أخرى أبسط منها .

وبغض النظر عن الكائنات الحية الحيوانية والنباتية التى سبقت ظهور الاميبا والفطريات ، والتى لا يعرف عنها شىء يستحق الذكر لعدم وجود أى حفريات تدل عليها فإن تطور الحياة بعد ذلك قد مر فى أدوار طويلة جدا استغرقت فى مجموعها الخمسمائة مليون سنة الأخيرة من تاريخ الكرة الأرضية ، وقد قسم الجيولوجيون هذه المدة إلى أزمنة (أو أحقاب) طويلة Eras وقسموا كل زمن منها إلى عصور Ages أقصر نسبيا . ويمثل كل زمن وكل عصر من هذه الأزمنة والعصور مرحلة خاصة من مراحل التطور التى مر بها سطح الارض سواء فى أشكاله التضاريسية أو فى مظاهره المناخية والحيوية (جدول ٧) . ويلاحظ أن طول الأزمنة والعصور يتناقص كلما تقدم الزمن، ويرجع ذلك إلى تزايد التعقيد فى مظاهر الحياة وزيادة الادلة على تطورها مما يسمح بتكوين صورة عنها أكثر تفصيلا من الصورة التى يمكن تكوينها عن الازمنة والعصور الأقدم ، وكلما توغلنا فى القدم تناقصت الأدلة التى تدلنا على تطور الحياة إلا بشكل عام . وفضلا عن ذلك فإن التطورات التى حدثت فى العصور الجيولوجية الأحدث هى التى تظهر آثارها واضحة فى المظاهر الحالية لسطح الأرض وما عليه من مظاهر حيوية مختلفة من أهمها ظهور النوع البشرى وتطوره .

جدول (٢)

الأزمنة (الأحقاب) والعصور الجيولوجية

الأزمنة (الأحقاب) وتواريخ بداياتها		العصور والفترات		أشهر الظواهر الطبيعية والحيوية
الكاينوزوى Cainozoic (أو زمن الحياة الحديثة)	الزمن الرابع Quaternary مليونين من السنين	هولوسين	Holocene (حديث)	ما بعد عصر الجليد
		بليستوسين	Pleistocene	عصر الجليد ـ الإنسان
	الزمن الثالث Tertiary	بليوسين	Pliocene	الحركات الألبية ـ أقدم البشريات
		ميوسين	Miocene	القردة العليا
		أوليجوسين	Oligocene	انتشار الحشائش
		أيوسين	Eocene	النباتات الزهرية ذات الأزهار ـ الثدييات
٦٠ ـ ٧٠ مليون سنة	٦٠ ـ ٧٠ مليون سنة	باليوسين	Paleocene	
الميزوزوى Mesozoic (أو زمن الحياة المتوسطة) أو الزمن الثاني ٢٠٠ مليون سنة		كريتاسى	Cretaceous	انقراض الديناصور
		جوارسى	Jurassic	الطيور ـ الزواحف الكبرى
		ترياسى	Triassic	الزواحف (الديناصور)
الباليوزوى Palaeozoic أو زمن الحياة القديمة أو الزمن الأول		برمى	Permian	الحركات الهرسينية
		فحمى	Carboniferous	تكوينات الفحم ـ البرمائيات
		ديفونى	Devonian	الحركات الكاليدونية ـ الأسماك
		سيلورى	Silurian	بدء الفقريات
		أردوفيشى	Ordovician	الجرابتوليت
٥٠٠ مليون سنة		كمبرى	Cambrian	التريلوبيت
ما قبل الكمبرى ٣٠٠٠ مليون سنة	بروتيروزيك Proterozoic أركى	صخور متحولة وصخور رسوبية صخور متحولة ونارية		كائنات حيوانية دنيا وطحالب ونباتات دنيا من الفطريات

جـــدول (٢)

الأزمنة (الأحقاب) والعصور الجيولوجية

الأزمنة (الأحقاب) وتواريخ بدايتها	العصـــــور والفـــــترات			أشهر المظاهر الطبيعية والحيوية
الكاينوزوى Cainozoic (أو زمن الحياة الحديثة)	الزمن الرابع Quaternary مليونين من السنين	هولوسين	Hol͏ocene	(حديث) ما بعد عصر الجليد
		بليستوسين	Pleistocene	عصر الجليد ـ الإنسان
	الزمن الثالث Tertiary ٦٠ ـ ٧٠ مليون سنة	بليوسين	Pliocene	الحركات الألبية – أقدم البشريات
		ميوسين	Miocene	القردة العلنية
		أوليجوسين	Oligocene	انتشار الحشائش
		أيوسين	Iocene	النباتات البرية ذات الأزهار – الثدييات
٦٠ ـ ٧٠ مليون سنة		باليوسين	Paleocene	
الميزوزوى Mesozoic (أو زمن الحيـاة المتوسطة) أو الزمن الثانى ٢٠٠ مليون سنة		كريتاسى	Cretaceous	انقراض الديناصور
		جوارسى	Jurassic	الطيور – الزواحف الكبرى
		ترياسى	Triassic	الزواحف (الديناصور)
الباليوزوى Palaeozoic أو زمن الحيـاة القديمة أو الزمن الأول		برمى	Permian	الحركات الهرسينية
		فحمى	Carboniferous	تكوينات الفحم ـ البرمائيات
		ديفونى	Devonian	الحركات الكاليدونية – الأسماك
		سيلورى	Silurian	بدء الفقريات
		اردوفيسى	Ordovician	الجرابتوليت
٥٠٠ مليون سنة		كمبرى	Cambrian	التريلوبيت
ما قبل الكمبرى ٣٠٠٠ مليون سنة	بروتيروزوك Proterozoic أركى		صخور متحولة وصخور رسوبية صخور متبلورة ونارية	كائنات حيوانية دنيئة رخوة ونباتات دنيئة من الطحالب

الباب الثاني

الفصل الخامس ـ أبعاد الكرة الأرضية وأغلفتها وطبيعة باطنها .

الفصل السادس ـ التركيب المعدني والصخري لقشرة الأرض .

الفصل الخامس

أبعاد الكرة الأرضية وأغلفتها وطبيعة باطنها

أبعاد الكرة الأرضية وأغلفتها الكبرى :

من المعروف أن الكرة الارضية ليست كاملة الاستدارة ولكنها مفلطحة قليلا عند القطبين ومنبعجة قليلا عند خط الاستواء ، ولهذا السبب فان طول قطرها الموصل بين القطبين ينقص بنحو ٤٣ كيلو مترا (٢٦٫٧ ميل) عن طول قطرها الاستوائي ، كما أن محيطها المار بها ينقص بنحو ٧٧ كيلو مترا (٤٢ ميلا) من محيطها الاستوائي ، وهذه الأطوال هي :

القطر الاستوائي	١٢٫٧٥٧	كيلو مترا	(٧٩٢٦٫٧ ميل)
القطر الواصل بين القطبين	١٢٫٧١٤	»	(٧٩٠٠ »)
المحيط الاستوائي	٤٠٫٠٧٧	»	(٢٤٩٠٢ »)
المحيط المار بالقطبين	٤٠٫٠٠٠	»	(٢٤٨٦٠ »)

والذى يهمنا فى موضوع الجغرافيا الطبيعية للأرض بصفة خاصة هو أغلفتها الطبيعية الظاهرية التى ترتبط ارتباطاً مباشراً ولو بدرجات متباينة بكل المظاهر الطبيعية والحيوية والبشرية على سطحها . وهذه الأغلفة هى :

١ ـ الغلاف الصخرى ـ الليثوسفير Lithosphere . ويشمل كل النطاق الصخرى الذى يغطى الباطن ، وهو غلاف غير محدد تماما ولكنه يتفق عموما مع ما يسمى بقشرة الارض . (كلمة ليثوس أصلها يونانى قديم ومعناها صخر) . ويبلغ سمكه حوالى ٤٠ كيلو مترا . وهو يرتكز على الباطن الذى يعرف باسم الباريسفير .

٢ ـ الغلاف المائى الهيدروسفير Hydrosphere : ويشمل كل المياه الصالحة والعذبة التى توجد على سطح الأرض أو فى صخورها أو فى هوائها ،

وأعظمها على الاطلاق هي مياه البحار والمحيطات التي تغطي حوالي ٧١ ٪ من السطح الكلي للكرة الارضية .

٣ ـ الغلاف الجوي Atmosphere : وهو الغلاف الغازي الذي يحيط بالكرة الارضية إحاطة تامة ، ويتراوح سمكه بين ٧٠٠ و ٣٠٠٠ كيلو متر من سطح البحر .

٤ ـ الغلاف الحيوي Biosphere : ويشمل كل أنواع الحياة في العالم من أدناها إلى أرقاها ، سواء منها ما يعيش في البر أو البحر أو الجو ، وسواء منها ما هو نباتي أو ما هو حيواني .

وباستثناء الغلاف الصخري (الليثوسفير) والباطن (الباريسفير) اللذين يوجدان كذلك في بعض الكواكب السيارة الأخرى ، وخصوصا الكواكب الصغيرة القريبة من الأرض ، وهي عطارد والزهرة والمريخ (راجع الفصل الثاني) فإن الأرض تنفرد من بين كل الأجرام السماوية المعروفة بغلافيها المائي وغلافها الجوي اللذين تسببا بدورهما في تكوين ما يميزها من غلاف حيوي غني ومتنوع (١) .

باطن الارض او الباريسفير Barysphere : (٢)

يشمل هذا الباطن كل ما يقع تحت القشرة الارضية . وما زالت معلوماتنا

---

(١) يعتبر كل غلاف من الاغلفة المذكورة ميدانا رئيسيا من ميادين الجغرافيا الطبيعية، ولكن لن يتيسر لنا أن نعالجها كلها في هذا الكتاب ، حيث أننا خصصناه بصفة أساسية لدراسة سطح القشرة الأرضية (الليثوسفير) ونظرا لأن البحار والمحيطات تشغل حوالي ٧١٪ من هذا السطح فقد عالجناها ولكن باختصار في ثلاث فصول وهي : السابع والثامن والتاسع .

(٢) يطلق على هذا الباطن كذلك اسم الباثيسفير Bathysphere أو السنتروسفير Centrospher أي النطاق المركزي .

منه قليلة نسبياً ، وتقل هذه المعلومات كلما زاد تعمقنا نحو المركز . وكل المعلومات المتوفرة عن الباطن تقريبـــاً مبنية على الاستدلال والاستنتاج المبنيين على دراسة الموجات الزلزاليـة والنشاط البركانى وقوانين الجاذبية ، أما المعلومات المبنية على القيـاس والملاحظة فتنحصر فى قشرة الأرض أو الليثوسفير وأهم الموضوعات التى تهمنا فى دراسة باطن الأرض هى :

١ — درجة حرارته .

٢ — درجة سيولته أو صلابته .

أما عن الحرارة فمن الثابت أنها تتزايد كلما تعمقنا من السطح نحو المركز وقد دلت الملاحظات التى أخذت أثناء عمليات حفر آبار البترول على أن المعدل التقريبى لهذا التزايد هو ٣٢° مئوية كلما زاد العمق بنحو كيلو متر واحد . ولكن ليس من المعروف إن كان هذا المعدل يستمر باطراد كلما زاد العمق أم أنه يتغير من نطاق إلى آخر كلما توغلنا نحو المركز ، ومع ذلك فمن المؤكد أن تزايد العمق يؤدى إلى تزايد الضغط الواقع على مواد الباطن وأن تزايد الضغط يتبعه بالضرورة ارتفاع فى معـــدل تزايد الحرارة . ويقدر بعض الباحثين أن درجة الحرارة عند المركز نفسه تبلـغ حوالى ٤٠٠٠° مئوية . وتعتبر شدة حرارة اللافا المنصهرة التى تخرج إلى السطح أثنـاء الثورانات البركانية دليلا قوياً على شدة الحرارة الباطنية حتى فى النطـاق الذى تحت القشرة مباشرة ، وهو النطاق الذى تخرج منه معظم المواد المنصهرة .

وعلى الرغم من برودة سطح الأرض فليس هناك دليل على حدوث أى تناقص فى حرارة باطنها بمرور الزمن ، إذ أن هناك عاملين رئيسيين يساعدان هذا الباطن على الاحتفاظ بحرارته وهما : ١) تزايد الضغط الواقع عليه كلما اتجهنا نحو المركز ويقدر الباحثون أن الضغط الذى يقع على هذا المركز يعادل ضغط الغلاف الجوى على سطح الأرض أربعة ملايين مرة ، ٢) احتوائه على

بعض المواد المعدنية ذات الإشعاعات الذرية ، وهي إشعاعات تكفي لتوليد طاقة حرارية هائلة .

أما موضوع سيولة الباطن أو صلابته فعلى الرغم من أن اللافا التي تلفظها البراكين تكون منصهرة فان معظم الباحثين يميلون إلى الاعتقاد بأن مواد الباطن في جملتها شديدة الصلابة . ولئن كانت هذه المواد سائلة أو رخوة في بعض النطاقات فان هذه النطاقات محدودة جداً ، لأنه على الرغم من أن درجة حرارة الباطن تزيد كثيراً عن الدرجات المعروفة لصهر جميع المعادن (وهي على سطح الأرض) فان وجود هذه المعادن تحت ضغط شديد جداً في الباطن يترتب عليه ارتفاع درجات انصهارها وبقائها صلبة في درجات أعلى بكثير من درجات انصهارها العادية فاذا ما خف الضغط الواقع عليها لأي سبب من الأسباب مثل انكسار الطبقات التي فوقها أو انثنائها فإنها سرعان ما تنصهر وتندفع إلى السطح وهي في هذه الحالة إذا وجدت طريقا للخروج كما يحدث عند ثوران البراكين.

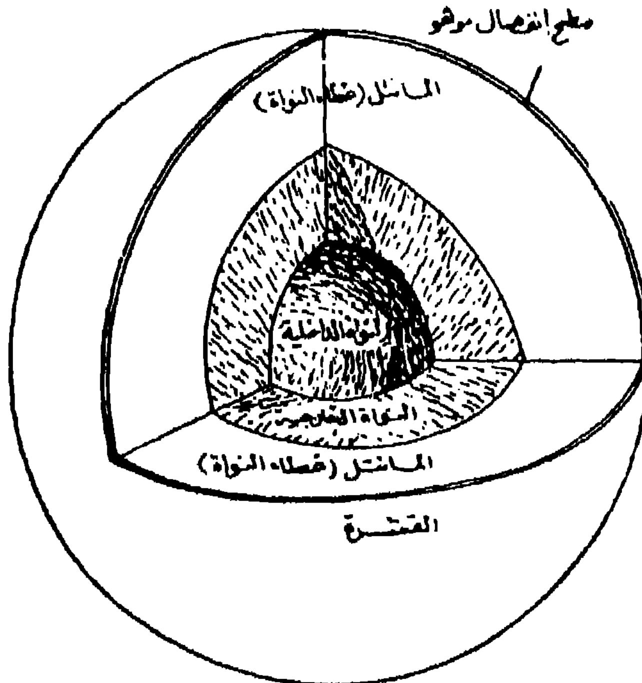
نطاقات الكرة من مركزها حتى سطحها :

على أساس المعلومات المتوفرة حتى الآن ، وأهمها المعلومات المستقاة من دراسة الموجات الزلزالية ، ينقسم جسم الكرة الارضية إلى النطاقات الآتية :

١ ـ النواة Core ، وهي كتلة مركزية قطرها حوالي ٣١٠٠ كيلومتر ، وتتكون من مواد معدنية أهمها النيكل والحديد ولذلك تشتهر باسم نيفي NIFE . وهي كلمة مكونة من جزئين يمثل كل منهما الحرفين الاولين من كلمتي Nickle (نيكل) و Ferrum (حديد) ، وتتراوح درجة حرارتها بين ٣٠٠٠ و ٤٠٠٠° مئوية . وهي تنقسم إلى نطاقين أحدهما داخلي شديد الصلابة ويعرف باسم النواة الداخلية Inner core والثاني خارجي رخو أو مائل للسيولة ويعرف باسم النواة الخارجية Outer core .

٢ ـ غطاء النواة Mantle ، وهو أسمك طبقات الكرة ، ويتكون من صخور قاعدية (بازلتية) عظيمة الكثافة وشديدة الصلابة .

٣ ـ القشرة Crust ، وهي الغطاء الصخري الخارجي ، وهو غطاء رقيق لا يزيد سمكه على ٤٠ كيلو متراً ، وقد يقل في بعض المواضع ، مثل قيعان المحيطات العميقة ، عن عشرة كيلومترات . وهي تتكون من طبقتين السفلى منهما مكونة من صخور أغلبها بازلتية تتراوح كثافتها بين ٣ و ٣٫٥ . ومن أهم العناصر التي تدخل في تركيبها السليكا Silica والمغنسيوم Magnesium ، وتشتهر باسم السيما Sima (وهي كلمة مكونة من الحرفين الأولين في كلمتي سليكا



شكل (٣٠) نطاقات الكرة الأرضية من المركز إلى سطح القشرة

وماغنسيوم) ، أما الطبقة العليا فتتكون من مواد جرانيتية تتراوح كثافتها بين ٢٫٥ و ٣ . وأهم العناصر التي تدخل في تركيبها السيليكا والألومنيوم ، وتشتهر باسم السايال Sial (وهي كلمة مكونة من الحرفين الأولين في كلمتي سيليكا وألومينيوم) .

ويطلق اسم « الموهو أو « سطح انفصال موهو Moho Surface of Discontinuity » على السطح الذي تلتقي عنده القشرة بغطاء النواة (وهو لا يعتبر طبقة من الطبقات) . وترجع أهميته إلى أنه يمثل مرحلة انتقالية تتغير عندها سرعة الموجات الزلزالية تغيراً فجائياً من ٦٫٧ كيلو متراً في الثانية في أعلاه إلى ٨٫١ كم / ثانية في أسفله (١) .

(١) أول من اكتشف وجود هذا السطح هو العالم اليوغسلافي أندريا موهوروفيتشيك Andrija Mohorvicic (تنطق Mohoro visaik) ولذلك فالسطح ينسب إليه (بعد اختصار اسمه إلى موهو) .

الفصل السادس

التركيب المعدنى والصخرى لقشرة الارض

التركيب العنصرى للصخور :

الصخور عبارة عن مركبات من المعادن ، والمعادن بدورها عبارة عن مركبات من العناصر ، وذلك باستثناء بعض المعادن التى يتكون كل منها من عنصر واحد مثل الذهب والقصدير والنحاس والفضة والرصاص . ومثل هذه المعادن لا تمثل على أية حال نسبة تستحق الذكر فى التركيب العام للقشرة الأرضية بسبب قلة وجودها أو ندرتها . وعلى هذا الأساس يمكننا القول بأن العنصر هو وحدة تركيب المعدن وأن المعدن هو وحدة تركيب الصخر.

ويبلغ عدد العناصر المعروفة حتى الآن حوالى ١٠٨ عناصر ، ومع ذلك فان ثمانية منها هى التى تكون ٩٨٫٨ ٪ من تركيب صخور القشرة ، وأهم عنصر من هذه العناصر هو الاكسوجين ، فهو وحده يكون حوالى ٤٦٫٧١ ٪ من تركيب الصخور ، لانه يتحد مع كثير من العناصر ويكون منها أكاسيداً معدنية مختلفة من أشهرها أكاسيد الحديد وأكاسيد الكلسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وغيرها ، ويليه السيليكون الذى يساهم بمقدار ٢٧٫٦٩ ٪ فى تركيب الصخور ، أى أن هذين العنصرين وحدهما يدخلان بنسبة ٧٤٫٠٤ ٪ فى هذا التركيب .

وفيما يلى أهم العناصر التى تدخل فى تركيب الصخور مرتبة على حسب نسبة مساهمتها فى هذا التركيب .

الاكسوجين	٤٦ر٧١ ٪	الصوديوم	٢ر٧٥ ٪
السيليكون	٢٧ر٦٩ ٪	البوتاسيوم	٢ر٥٨ ٪
الالومينيوم	٨ر٧ ٪	المغليسيوم	٢ر٠٨ ٪
الحديد	٥ر٠٥ ٪	التيتانيوم	٠ر٦٢ ٪
الكلسيوم	٣ر٢٥ ٪	الايدروجين	٠ر١٤ ٪

أهم المعادن التي تساهم في تركيب القشره :

١ — الكوارتز Quartz ، وهو الذي يشتهر كذلك باسم (المرو) . وهو مركب من ثاني أوكسيد السيليكون ، ويعتبر من أهم مركبات الصخور النارية والمتحولة والصخور الرملية وهو شفاف إن كان نقيا ولكنه قد يكون مائلا إلى البياض ، أما إن كان مختلطا بشوائب ملونة فان لونه يتغير بتغير لون هذه الشوائب . وهو ذو بريق زجاجي Vitreous Lusture . وصلادته فوق المتوسطة (درجتها ٧) (١) ، وهو متبلور وبلوراته من مجموعة السداسي (Hexagonal) وهو لا يتشقق ولكن يمكن تكسيره وطحنه ، إلا أنه لا يتحلل بالاحماض . وفضلا عن دخوله في تركيب كثير من الصخور فان بلوراته توجد مفككة وتغطي مناطق واسعة جداً من سطح الارض ويحدث هذا عندما يتفكك أو يتحلل الصخر الذي يتضمنه ، ففي هذه الحالة تترسب البلورات بشكل رمال أو حصى ، وليست الرمال الصحراوية والحصى الذي يغطي مناطق واسعـــة من الصحارى إلا حبات كوارتزية متخلفة

---

(١) تقاس صلادة المادن على أساس المقياس الذى وضعه أحد الجيولوجيين وهو الباحث موهو ، ويشتهر باسم مقياس « موهو لدرجة الصلادة » وعلى أساسه وضعت عشر درجات لهذه الصلادة تبدأ بأقلها صلادة ورقمها ١ ويمثلها التلك Talc وتنتهي بأشدها صلادة ورقمها ١٠ ويمثلها الماس Diamond أما الدرجات العشر فهي : ١ (التلك) ، ٢ (الجبس) ويمكن لظفر الانسان أن يخدشها ، ٣ (الكلسيت) ، ٤ (الفلورسبار) ، ٥ (الاباتيت) ، ٦ (الارثوكلاز) ، ويمكن خدش أي منها بنصل السكين ، ٧ (الكوارتز) ، ٨ (التوبالز) ، ٩ (الكوروندم) ، ١٠ (الماس) ولا يمكن خدشه .

من تفكك الصخور النارية وتحللها بفعل التجوية وغيرهما من العوامل . وإن ضخامة الغطاءات الرملية الصحراوية واتساع انتشارها في العالم لهو أوضح دليل على أهمية معدن الكوارتز في تركيب قشرة الأرض ، فهو في الواقع أكثر المعادن مساهمة في تركيبها .

والكوارتز فضلا من ذلك فوائد اقتصادية متعددة ، فبعض أنواعه النقية تدخل في صناعة عدسات النظارات والأجهزة العلمية وفي صناعة الزجاج والخزف . كما أن الانواع الملونة منه تستخدم في صناعة بعض أنواع الساعات والنقود وغيرها من الحلي . وليس العقيق Agate واليشب Jasper إلا حبات من الكوارتز المختلط ببعض الشوائب مثل الطين أو أكاسيد الحديد التي تعطيه ألوانا مختلفة منها الأحمر والأصفر والأخضر . ومعظمها ألوان جميلة تجعلها ملائمة لصناعة بعض الحلي .

ويعتبر الصوان Flint من الصخور التي تتكون بصفة أساسية من الكوارتز ولكن بعد اختلاطه ببعض المواد الطينية . والمعروف أن هذا الصخر قد لعب دورا أساسيا في الحضارات البشرية القديمة ، حيث أنه كان المادة الأساسية لصناعة الآلات الحجرية قبل أن يعرف الإنسان استخدام المعادن .

٧ ــ الكلسيت Calcite وهو الجير المعروف . وهو مركب من كربونات الكالسيوم ، ودرجة صلابته دون المتوسط(٣) ، وبلوراته من مجموعة السداسي وهو سهل التشقق ويغلب أن يكون شفافا ذا بريق زجاجي ، ولكن قد تختلط به الشوائب فيتحول إلى اللون الأبيض أو المائل إلى الرمادي ، وهو سريع التأثر بالاحماض ، فإذا أضيفت إليه شيء منها فإنه يفور وينبعث منه ثاني أكسيد الكربون . ويوجد تشابه كبير بينه وبين الكوارتز في المظهر ولكن من الممكن أن يميز منه بسهولة على أساس قلة صلادته وسهولة تشققه .

وهو يأتي بعد الكوارتز مباشرة من حيث كثرة وجوده في صخور القشرة

الارضية هي المادة الرئيسية في تركيب الصخور الجيرية بمختلف أنواعها ، وكثيرا ما توجد منه عروق نقية متقاطعة مع طبقات الصخور الجيرية أو متوازية معها ، وهي ظاهرة موجودة في بعض أجزاء جبل المقطم ، كما تتكون منه الأعمدة الهابطة والأعمدة الصاعدة في كهوف المناطق الجيرية (الاستالاكتيت Stalactites والاستالاجميت Stalagmites) .

٣ — أكاسيد الحديد Iron Oxides:

تنتشر هذه الأكاسيد بكثرة في قشرة الأرض سواء بشكل كتل مستقلة أو مختلطة بالصخور والرواسب المختلفة . وتوجد منها عدة أنواع أهمها : الهيماتيت Haematite ، والماجنيتيت Magnetite ، والليمونيت Limonite .

والهيماتيت هو أهم الخامات التي يؤخذ منها الحديد ، وتتوقف قيمته على نسبة ما يختلط به من شوائب . وهو يعرف أحيانا باسم « حجر الدم Blood Stone » ، لأنه إذا خدش فإن لونه في موضع الخدش يكون أحمرا قاتما مثل لون الدم ، أما لونه الخارجي فيكون إما أسودا أو أحمرا مائلا للسواد . وقد يوجد متبلورا في بلورات من مجموعة السداسي إلا أنه يوجد في الغالب غير متبلور إما بشكل كتل أو بشكل مسحوق ناعم يختلط بالصخور أو الرمال والتربة فيعطيها لونا أحمرا أو بنيا ، كما هي الحال في التربة الحمراء التي تنتشر في مناطق واسعة من العالم ، وفي الصخور الرسوبية الحمراء التي تتكون منها بعض الجبال مثل الجبل الأحمر بالقرب من القاهرة .

أما الماجنيتيت ، فهو أكسيد الحديد المغناطيسي ، وأهم صفاته أن له قوة مغناطيسية واضحة ، ولونه المعتاد هو الأسود ، وهو يوجد إما متبلورا أو بشكل حبيبات غير متبلورة .

أما الليمونايت ، فهو أكسيد الحديد الثاني ، وترجع أهميته إلى وجود

عنصر التيتانيوم فى تركيبه ، وهو عنصر مهم فى صناعة مواد الطلاء البيضاء وفى صناعة بعض أنواع الصلب الجيدة ومنها الأنواع التى تدخل فى صناعة الطائرات .

٤ — معادن الفلسبار Felspars :

تعتبر هذه المعادن (مع الكوارتز) من أهم مركبات الصخور النارية ، وأساس تركيبها الكيميائى هو سيليكات الألومينيوم عندما تتحد مع واحد أو أكثر من أكاسيد البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم . وهى تتحلل بواسطة مياه الأمطار فتتحول إلى مواد طينية وصلصالية ، ومنها الرواسب الطينية والصلصالية التى تتكون منها معظم دلتاوات الأنهار ووديانها ، مثل نهر النيل الذى يتكون أغلب الطمى الذى يحمله فى موسم الفيضان من معادن الفلسبار التى تتخلف من تحلل الصخور النارية لهضبة الحبشة . وتوجد من هذه المعادن أنواع نقية تصلح لصناعة الأوانى الخزفية . ومن أشهرها الصلصال الصينى China Clay والكاولين Kaolinite اللذان يوجدان فى رواسب بعض أنهار الصين ووسط أوروبا . وقد اشتهرت الصين منذ القدم بالصناعات الخزفية من هذه الرواسب ، وربما كان هذا هو السبب الذى من أجله اشتهرت هذه الصناعات فى معظم بلاد العالم باسم الصناعات الصينية . وتحتوى الرواسب الطينية لنهر النيل فى بعض مناطق الوجه القبلى خصوصا فى أسوان على نوع من الصلصال الذى يصلح لهذه الصناعة .

ويعتبر الأرثوكلاز Orthoclase والبلاجيوكلاز Plagioclase من أهم معادن الفلسبار ، وكلاهما يصلح لصناعة الزجاج والأوانى الخزفية .

٥ — الجبس Gypsum :

وهو مركب من كبريتات الكلسيوم والماء ، وقد يوجد متبلورا أو بشكل كتل غير متبلورة ، وهو يوجد فى كثير من الصخور الرسوبية خصوصا فى

المناطق الساحلية ، فى مصر توجد كميات منه بالقرب من خليج السويس وخليج العقبة وعلى ساحل البحر الأحمر وفى المناطق الساحلية إلى الغرب من الاسكندرية . والجبس النقى شفاف وذو بريق زجاجى ، وينشق انشقاقا كاملا ، وإذا سخن فإنه يفقد الماء المتحد معه وينتج من ذلك الجبس المعروف Plaster of Paris ومنه الجبس الطبى المعروف ، وهذا هو أنقى أنواع الجبس . أما أكثر أنواعه شيوعا فى الطبيعة فهى الأنواع الرديئة التى لا تصلح إلا لأغراض البناء .

٦ — معادن الميكا Mica :

وهى من المعادن المهمة التى تدخل فى تركيب الصخور النارية ، وهناك كثير من التشابه فى التركيب الكيميائى بين هذه المعادن وبين معادن الفلسبار ، فأساس التركيب الكيميائى لها جميعاً هو سيليكات الألومنيوم عند اتحادها مع واحد أو أكثر من الأكاسيد . والأكاسيد التى تدخل غالبا فى تركيب الميكا هى أكاسيد الحديد والماغنسيوم والبوتاسيوم . وتوجد من الميكا عدة أنواع يختلف بعضها من بعض على حسب نوع الأكسيد الذى يدخل فى تركيبها ، وهى تتباين غالبا فى ألوانها ولكنها تتشابه فى صفاتها الرئيسية ، فجميعها ذات بريق زجاجى وسهل تشققها فى صفائح رقيقة ولها قدرة كبيرة على تحمل درجات الحرارة العالية ، ولذلك فإنها تستخدم بدلا من الزجاج فى صناعة الأجهزة التى تتعرض للحرارة المرتفعة من الأفران وبعض الاجهزة العلمية ، كما أنها تتميز من الزجاج بأنها أقدر منه على مقاومة الكسر مما يجعلها أصلح منه لصناعة غطاءات الساعات ونوافذ الطائرات، وستائر الدراجات البخارية وبعض نوافذ وستائر السيارات وغيرها .

ومن أشهر أنواعها الميكا البيضاء المعروفة باسم المسكوفيت Muscovite ، وهى مركبة من سيليكات الالومنيوم وأكاسيد البوتاسيوم، والميكا السوداء

المعروفة باسم البيوتيت Biotite ، وهى مركبة من سيليكات الألومينيوم مع أكسيد الحديد أو المغنسيوم .

٧ — الهورنبلند Hornblend ، والاوليفين Olivine : وهما من المعادن التى تدخل فى تركيب الصخور النارية ، والأساس فى تركيب كل منهما هو سيليكات الألومينيوم ، ولكن بينما يتكون الهورنبلند من اختلاط هذا المعدن بالكلسيوم والحديد والألومينيوم فإن الأوليفين يتكون من اختلاطه بالحديد. وهناك تشابه بينهما فى بعض الصفات فكلاهما بريقه زجاجى ولونه أخضر تقريبا إلا أن لون الهورنبلند يكون غالبا مائلا إلى السواد ، كما أنه أشد صلابة من الأوليفين ، فصلابته ٧ أما صلابة الهورنبلند فهى ٥ر٥ تقريبا .

ويعتبر الأزبستوس Asbestos أو حجر الفتيل نوعا من الهورنبلند ، وهو مركب من ألياف يصلح بعضها لصناعة نسيج غير قابل للاحتراق .

كما يعتبر الزبرجد Peridot نوعا من الأوليفين ، وهو يتميز بلونه الأخضر الصافى الذى يجعله صالحا لصناعة بعض الحلى . وهو موجود بكثرة فى جزيرة الزبرجد فى البحر الأحمر إلى الجنوب من القصير بمصر .

صخور القشرة الارضية

تقسم الصخور عموما إلى ثلاث مجموعات كبرى هى : الصخور النارية Igneous Rocks [1] والصخور الرسوبية Sedimentary Rocks ، والصخور المتحولة Metamorphic Rocks ، والمقصود بالمجموعة الاخيرة هو الصخور التى كانت فى الاصل تنتمى إلى أحدى المجموعتين الاخريين ثم أعيد تبلورها فى ظروف جديدة فتحولت إلى صخور مختلفة عن الصخور الاصلية التى تحولت منها .

---

(١) Igneous مأخوذة من كلمة لاتينية هى Ignis ومعناها نار .

اولا ـ الصخور النارية

ويقصد بها الصخور التي تكونت من تصلب مواد جوف الارض (الماجما) سواء حدث هذا التصلب فوق سطح الأرض بعد خروج هذه المواد إلى السطح أو حدث بين طبقات القشرة أو تحتها .

وأهم ما تتميز به هذه الصخور هو أنها لا تحتوي على حفريات ، وأنها لا توجد في طبقات منتظمة . وهي غالبا مكونة من معادن متبلورة . ولذلك فانها تشتهر كذلك باسم الصخور المتبلورة أو البلورية Crystallised Rocks .

وهي من أشد أنواع الصخور صلابة ، ولذلك فان لها قدرة كبيرة على مقاومة عوامل النحت ، ومع ذلك فان كثيرا منها يسهل تفككه وتحلله بواسطة عوامل التجوية .

وأهم المعادن التي تساهم في تركيب هذه الصخور هي : الكوارتز والفلسبار والميكا والهورنبلند والاوليفين والاوجيت .

وهي تقسم على أساس نسبة الكوارتز (ثاني أوكسيد السيليكون) الذي يدخل في تركيبها إلى عدة أنواع هي :

١) صخور حامضية Acidic وفيها تزيد نسبة الكوارتز على ٦٠ ٪ ، فاذا زادت هذه النسبة على ٧٠ ٪ فانها توصف بأنها فوق الحامضية Ultra acidic.

٢) صخور متوسطة Intermediate وفيها تتراوح النسبة بين ٥٢ ٪ و ٦٠ ٪ .

٣) صخور قاعدية Basic ، وفيها تنخفض النسبة عن ٥٢ ٪ ، فاذا انخفضت عن ٤٠ ٪ فانها توصف بأنها فوق القاعدية Ultra basic .

وإلى جانب هذا التقسيم الكيميائي فان هذه الصخور تقسم على أساس الظروف والاماكن التي تصلبت فيها إلى ثلاثة أنواع هي :

١ ـ صخور طفحية Extrusive ، وهي التي تسمى كذلك بالصخور البركانية Volcanic ، وهي التي تتكون من تصلب الطفوح البركانية (أو اللافا) فوق سطح الارض ، وهي مستمدة في الاصل من الماجما التي توجد تحت القشرة ، ويعتبر البازلت أكثر الصخور النارية الطفحية انتشارا ، لانه تتكون كل الهضاب والجبال البركانية في العالم . وتكون بلورات الصخور الطفحية عموما دقيقة لان سرعة برودتها وتصلبها على السطح لا تترك وقتا كافيا لنمو البلورات .

٢ ـ صخور متداخلة Intrusive ، وهي التي تتكون من تصلب المواد المصهورة (الماجما) بين طبقات القشرة أي قبل وصولها إلى السطح ، وتكون بلوراتها عموما أكبر من بلورات الصخور الطفحية ، وهي توجد في تراكيب جيولوجية متباينة من أهمها السدود والقواطع وغيرها من الأشكال التي سنذكرها فيما بعد .

٣ ـ صخور الاعماق ، وتعرف كذلك بالصخور البلوتونية Plutonic [1] وهي التي تتكون من تصلب الماجما على أعماق كبيرة تحت السطح . ومن الطبيعي أن تكون بلوراتها أكبر من بلورات النوعين الآخرين لان تصلبها يحدث ببطء شديد . وأهم التراكيب الجيولوجية التي توجد فيها هي كتل الباتوليث التي سنتكلم عليها فيما بعد ، ويعتبر الجرانيت أكثر صخور الاعماق وجودا في قشرة الارض .

ولا يشترط أن تكون صخور الاعماق أو الصخور المتداخلة موجودة في الوقت الحاضر تحت سطح الأرض لأن الحركات الأرضية وعوامل التعرية

(١) كلمة بلوتونى Plutonic كلمة يونانية قديمة منسوبة الى بلوتو Pluto وهو اله ما تحت الأرض في الميثولوجيا اليونانية القديمة .

المختلفة قد أدت إلى إظهار الكثير منها فوق السطح ، بل إن بعضها يرتفع فوق هذا السطح في كثير من المناطق وتتكون منه هضاب وجبال مرتفعة من أمثلتها كثير من هضاب وسط افريقيا وجبال شبه جزيرة سينا و جبال البحر الأحمر.

وتتميز الصخور النارية التي توجد على سطح الارض في بعض المناطق بكثرة ما يوجد بها من مفاصل Joints ، وهي عبارة عن شقوق كبيرة تقطع بها أجزاء الكتل الصخرية الكبرى إلى كتل صغيرة متراصة . وقد تنشأ هذه المفاصل في الصخور بسبب البرودة أثناء تكونها أو بسبب عوامل التجوية Weathering وعوامل التعرية (١) . وكثيرا ما تكون هذه المفاصل متقاطعة مع بعضها بحيث تؤدى إلى تقسيم الكتل الصخرية الكبيرة إلى كتل أصغر لها أشكال هندسية واضحة بالنسبة لبعض الصخور (شكل ٣١) .

الاشكال التضاريسيه والتراكيب الجيولوجيه التي تتكون من الصخور الناريه :

أولا ـ الصخور الطفحيه (البركانيه) :

تتوقف الاشكال التضاريسية التي تتكون من هذه الصخور على كمية المواد المنصهرة التي تخرج إلى السطح ونوعها وطريقة خروجها ، وأهم هـــذه الاشكال هي :

١ ـ المخروطات البركانية، وهي تتكون نتيجة لتراكم اللافا المنصهرة حول فوهات البراكين ، وتكون هذه المخروطات قائمة وجوانبها شديدة الانحدار إذا كانت اللافا حامضية (بها نسبة عالية من ثاني أوكسيد السيليكون) لان درجة انصهارها تكون عالية مما يجعلها تتصلب بسرعة حول فوهة البركان ، أما إذا كانت قاعدية (بازلتية)(فقيرة في ثاني أوكسيد السيليكون) فان مخروطاتها تكون منبطحة وجوانبها بطيئة الانحدار لأن درجة انصهارها تكون

---

(١) سيعود الكلام على عوامل التجوية وعوامل التعرية في الفصول اللاحقة :



شكل (٣١) تقطع الصخور النارية بواسطة المفاصل
التي تكونت أثناء البرودة فقسمتها إلى أعمدة رأسية

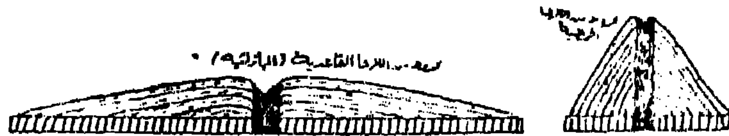
منخفضة مما يجعلها تنساب بعيدا عن فوهة البركان قبل أن تتصلب .

٢ — غطاءات اللافا Lava Sheets ، وهي عبارة عن هضاب متسعة من الصخور البركانية . وهي تتكون بسبب خروج اللافا القاعدية من شقوق في القشرة وانسيابها لمسافات بعيدة فاذا استمر خروج اللافا لمدة طويلة أو إذا تكرر خروجها عدة مرات في نفس المنطقة فانها تؤدي في النهاية إلى تكوين

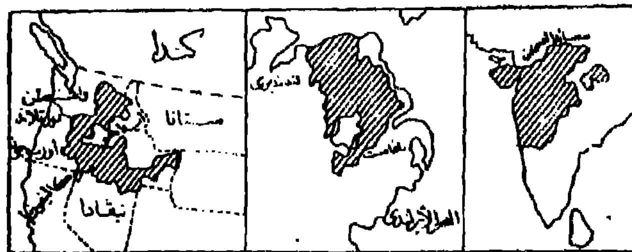
هضاب بازلتية ضخمة مثل الهضبة المعروفة باسم مصاطب الدكن Deccan Traps في شمال غرب هضبة الدكن ، وهي تغطي منطقة مساحتها حوالي نصف مليون كيلو متر مربع ، والهضاب البازلتية الواسعة في ولايات واشنطن وأوريجون وأيداهو في شمال غرب الولايات المتحدة ، ويبلغ متوسط ارتفاعها حوالي الف متر واتساعها حوالي ٦٠٠ ألف كيلومتر مربع . وكذلك الهضاب التي تشغل منطقة واسعة في شمال شرق أيرلنده . ويمكننا أن نعتبر هضبة الحبشة وهضبة اليمن في جملتها من نفس النوع ، وذلك بالإضافة إلى الثورانات البركانية العادية التي أدت في نفس الوقت إلى ظهور مخروطات بركانية واضحة في هاتين الهضبتين .

ثانيا – صخور الأعماق والصخور المتداخلة :

تتكون من هذه الصخور تراكيب جيولوجية متباينة ، وتتكون كل هذه



شكل (٣٢) مخروطان بركانيان أحدهما من اللافا الحامضية والثاني من اللافا القاعدية



شكل (٣٣) بعض غطاءات اللافا الكبيرة

التراكيب تحت سطح الأرض إلا أن بعضها يظهر حاليا على السطح بسبب الحركات الأرضية أو بسبب إزالة التعرية لما فوقها من تكوينات أو بسبب العاملين معا . وتتوقف الأشكال التي تأخذها تراكيب هذه الصخور على عوامل مختلفة من أهمها كمية المواد المنصهرة المندفعة نحو السطح وقوة اندفاعها وامتداد الطبقات الصخرية التي فوقها وقوة مقاومتها ومكان وجود مناطق الضعف فيها مثل الانكسارات والمفاصل وسطوح انفصال الطبقات . فمثل هذه المناطق تعتبر طرقا سهلة نسبيا يمكن أن تسلكها المواد المنصهرة للتحرك أو التجمع . ومن أهم الأشكال التي تأخذها تراكيب هذه الصخور ما يأتي :

١ — الباثوليث Batholith : وهو عبارة عن كتلة ضخمة جدا من صخور الأعماق التي تكونت على عمق كبير من سطح الأرض نتيجة لاندفاع كميات ضخمة من الماجما إلى أعلى وتصلبها قبل أن تصل إلى السطح ، وقد يصل حجم الباثوليث إلى مئات الآلاف من الكيلومترات المكعبة ، فاذا أدت الحركات الارضية وعوامل التعرية إلى رفعه وإظهاره فوق السطح فانه يكون نطاقا جبليا يتوقف ارتفاعه وامتداده على حجم الباثوليث ، ومن أمثلة النطاقات الجبلية الكبيرة التي تكونت بهذا الشكل الجبال الواقعة على جانبي البحر الأحمر وجبال شبه جزيرة سيناء ، والجبال الساحلية في كولومبيا بشمال غرب أمريكا الجنوبية ، وهي تشغل نطاقا طوله ١٠٠٠ كيلومتر وعرضه ١٧٠ كيلومترا .

٢ — اللاكوليث Laccolith : وهو عبارة عن كتلة من الصخور النارية المتداخلة التي تتكون غالبا بشكل قبة بين طبقات القشرة الأرضية ، وهو أصغر حجما بكثير من الباثوليت كما أنه أقرب منه إلى سطح الارض ، ولكنه مع ذلك يتكون على عمق كبير نسبيا . وهو يتكون إذا اعترضت الماجما عند اندفاعها إلى أعلى طبقة شديدة المقاومة بحيث لا تستطيع اختراقها ولكنها

تستطيع ثنيها إلى أعلى فتتجمع الماجما تحت الثنية ثم تتصلب بشكل قبة كبيرة، وإذا ظهر اللاكوليث فوق السطح بسبب الحركات الارضيــة أو بسبب عوامل التعرية فانه يظهر بشكل قبة من الصخور النارية .

وهناك نوع من اللاكوليث الذى يتميز بأن له عنقا طويلا متعمقــا فى طبقات القشرة ، ويطلق عليه اسم اللاكوليث المتعمق Bysmalith أو العنق الجوفى Plutonic Plug .

اللابوليث Lapolith : وهو تركيب يشبه اللاكوليث إلا أن وضعه يكون معكوسا أى أن قمته تكون إلى أسفــل وقاعدته إلى أعلى ، وهــو يتكون إذا كانت الطبقة التى تعترض اندفاع الماجما من القوة بحيث لا تستطيع الماجما ثنيهــا إلى أعلى ، بينما تستطيع أن تثنى الطبقة التى تحتهــا إلى أسفل . ونتيجة لهذا فان التركيب الناتج يأخذ شكل قمع أو شكل حوض ضخم .

٤ ـ القواطع (السدود غير المتوافقة) Dykes (١) وهى كتــل مستطيلة أو سدود من الصخور النارية ممتدة بشكل أعمدة متقاطعة مع طبقات القشرة الارضية ، ولكنها لم تكن عند بدء تكونها واصلة إلى السطح ، وهى تتكون عندما تجد الماجما شقوقا أو فواصل فى طبقات الصخور فتندفع فيها إلى أعلى حيث تملؤها وتتصلب فيها ، وهى تقطع الطبقات التى تخترقها فى اتجــاهات عمودية أو مائلة . وهى تتباين فيما بينها تباينا كبيرا فى الارتفاع والسمك ، فبعضها يصل ارتفاعه إلى أكثر من مائة متر وبعضها الآخر لا يزيد ارتفاعه

---

(١) يوصف التركيب الجيولوجى للصخور المتدخلة وصخور الاعماق بأنه متوافق Concordant إذا كان هذا التركيب ممتدا مع امتداد الطبقات التى يتكون بينها ، ويوصف بأنه غير متوافق Disconcordant إذا كان اتجاهه متقاطعا مع هذه الطبقات .

من بضعة أمتار ، كما أن بعضها قد يزيد قطره على بضعة أمتار و بعضها الآخر لا يكاد قطره يتجاوز المتر الواحد . وقد يحدث فى بعض المناطق أن توجد مجموعة كبيرة من القواطـع المتقاربة ، ويطلق على مثل هـذه المجموعة اسم « سرب القواطع Dyke Swarm » . وتدل كثرة القواطع فى أى منطقة من المناطق على كثرة الشقوق والفواصل فى طبقات القشرة الأرضية . وفى مثل هـذه المناطق يكون شق الطرق والقنوات أمرا بالغ الصعـوبة إذا كانت القواطع واصلة إلى سطح الأرض أو بالقرب منه .

• — العتبات (السـدود المتوافقة) Sills : وهى عبارة عن سدود أفقية تمتد بين الطبقات الأفقية ، وتتكون عندما تجد الماجما أثناء اندفاعها إلى أعلى مناطق ضعيفة بين الطبقات فتندفع فيها مكونة طبقات يختلف سمكها وامتدادها على حسب كمية الماجما المندفعة واتساع مناطق الضعف ، ويتراوح سمك العتبات التى تتكون بهذا الشكل من بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار . ويعتبر وجود هذه العتبات عقبة فى طريق حفر الآبار للوصول إلى طبقات المياه الجوفية أو الطبقات البترولية التى ربما تكون موجودة تحتها ، ولكنهـا إلى جانب ذلك تساعد (بسبب عدم مساميتها) على تكوين طبقات مائية فوقها .

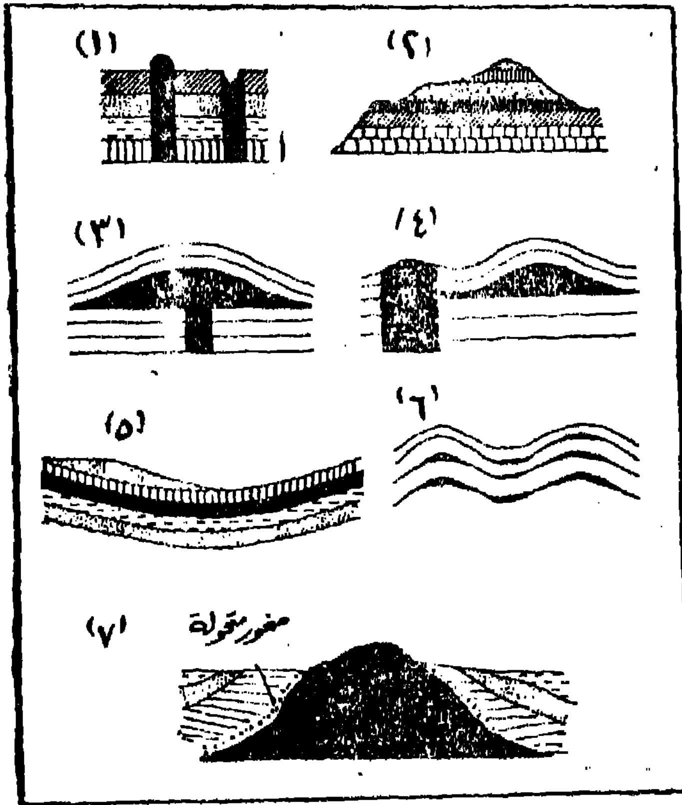
وقد يحدث فى بعض المناطق أن تكون الطبقـات الصخرية التى تنســاب الماجما بينها محدبة الشكل ، وفى مثل هـذه المناطق تأخذ العتبات نفس شكل امتداد الطبقـات فتظهر بشكل أهلة ، ويطلق على مثل هـذه السدود اسـم الفاكوليث Phacolith أو السدود الهلالية .

امثلة للصخور النارية المشهورة :

أولا : الصخور الطفحية (البركانية) :

البازلت Basalt : وهـو أشهر الصخور الطفحيـة التى تتكون نتيجـة

لتصلب اللاابد خروجها من فوهات البراكين أو الشقوق، وهو أوسع الصخور النارية انتشارا على سطح الأرض لأنه تتكون كل الهضاب والجبال البركانية فى العالم . وهو صخر فوق القاعدى بسبب فقره الشديد فى ثانى أوكسيد السيليكون (الكوارتز) . والمعادن الرئيسية التى يتكون منها هى الأوجيت



شكل (٣٤) أهم الأشكال التى تظهر بها الصخور النارية

(١) سدود رأسية ، (٢) عتبة (سد أفقى) ، (٣) لاكوليث ، (٤) لاكوليث متعمق ، وبجانبه لاكوليث عادى (٥) لابوليث ، (٦) فاكوليث (سدود هلالية) (٧) باثوليث أكشفته التعرية (لاحظ الصخور المتحولة الملاصقة) .

والأوليفين والبلاجيوكلاز . وبلورات البازلت صغيرة ، وتكثر به الثقوب والفجوات التي تنشأ نتيجة لخروج الغازات من اللافا أثناء برودتها على السطح ، واللون الغالب في هذا الصخر هو اللون الرمادي الذي يميل أحيانا إلى السواد أو الاخضرار . وهو شديد الصلابة ، وكثيرا ما يستفاد به في رصف الطرق في المناطق ذات التربة الطينية حيث توضع منه طبقة تحت الأسفلت لتكون بمثابة أساس صلب .

حجر الخفاف : وهو صخر ناري كثير الفراغات، ويتميز بخفته لدرجة أنه يطفو فوق الماء ، وهو يتكون نتيجة لتصلب الفقاقيع التي تتكون على سطح اللافا أثناء برودتها وخروج الغازات منها على سطح الأرض . ويكون لون الخفاف مائلا إلى السواد إذا تكون من اللافا البازلتية (القاعدية) ومائلا إلى البياض أو الأحمرار إذا تكون من اللافا الحمضية .

ثانيا — صخور الاعماق والصخور المتداخلة :

الجرانيت Granite : وهو صخر جوفي حمضي حيث يعتبر الكوارتز من أهم مكوناته ، كما يعتبر الفلسبار كذلك من مكوناته الرئيسية ، ويضاف إليها واحد أو أكثر من معادن الميكا والهورنبلند والارثوكلاز . وتوجد من الجرانيت عدة أنواع يختلف بعضها عن بعض على حسب اللون وحجم البلورات ، ويتوقف لون الصخر عادة على لون الفلسبار الذي يدخل في تركيبه ، فإذا كان ورديا فان لون الصخر يكون مائلا إلى الاحمرار ، أما إذا كان لونه أبيضا وكان لون الميكا أسودا فان لون الصخر يكون رماديا . أما على أساس حجم البلورات فان الجرانيت ينقسم إلى نوعين أحدهما دقيق الحبيبات Fine grained والثاني خشن Course grained .

والجرانيت شديد الصلابة جدا ويتميز بمقدرته على مقـاومة عوامل التعرية ، ولذلك فانه من أصلح الصخور لبناء السدود على الأنهار ولصناعة التماثيل ، وقد كان الفراعنة يستخدمونه فعلا في عمـل التماثيل والمسلات . ومع ذلك فانه يتأثر بالتجوية ، سواء في ذلك التجوية الآليـة أو التجوية الكيميائية . وإن التجوية هي التي تؤدى بمرور الزمن إلى تفتت الصخر فتنفصل عنه في هذه الحالة المعادن المكونة له . وتعتبر الرمال الصحراوية في مختلف جهات العالم أكثر المواد الناتجة من تجوية الجرانيت انتشارا على سطح الارض ، وهى عبارة عن حبات كوارتزية متباينة الاحجـام . وتعتبر المواد الطينية والصلصالية كـذلك من أهم المواد التى تنتج عن تجوية هذا الصخر ، وهى تنتج عادة من تحلل معادن الفلسبار التى تعتبر من أهم مركباته .

وتوجد في مختلف جهات العـالم نطاقات كبيرة من المرتفعات التى تتكون من الصخور الجرانيتية وأغلبها كانت فى الاصل تكوينات جوفية من نوع الباثوليث أو اللاكوليث ثم أدت حركات القشرة الارضية وعوامل التعرية إلى ظهورها على السطح ، ومن أمثلتها فى إفريقيا معظم هضاب وسط القارة وجنوبها ومرتفعات البحر الاحمر وشبه جزيرة سينا .

الفلسيت Felsite . وهو غالبا صخر متدخل ، وتتكون منه كثير من القواطع Dykes والعتبات Sills ، وهو يشبه الجرانيت فى تركيبـه ، ولكن بلوراته دقيقة جدا حتى أنها لا ترى غالباً إلا بالمجهر ، وذلك بسبب التصلب السريع للمواد المنصهرة التى تكونت منها عند اندفاعها خلال الصخور الاخرى، حيث أنها تندفع بشكل أعمدة طولية قليلة السمك ، كما يحدث عند تكوين القواطع ، أو بشكل طبقات رقيقة كما يحدث عند تكوين العتبات .

ثانيا ـ الصخور الرسوبية

Sedimentary Rocks

صفاتها العامة

تغطى هذه الصخور حوالى ٧٥٪ من المساحة الكلية لليابس، ولكنها مع ذلك لا تمثل إلا ٥٪ فقط من حجم القشرة الارضية ، بينما يكون العكس بالنسبة للصخور النارية والمتحولة التى لا تظهر على السطح إلا فى حوالى ٢٥٪ فقط من مساحة اليابس بينما تمثل ٩٥٪ من تركيب القشرة . وتوجد هذه الصخور عادة فى طبقات متتابعة ولذلك فانها تسمى كذلك بالصخور الطباقية Stratified Rocks ويكون تتابعها عادة متفقا مع ترتيب العصور التى تكونت أثناءها بحيث يكون القديم منها تحت الاحدث منه ، ومع ذلك فقد أدت الحركات الارضية وعوامل التعرية إلى اختلال هذا التتابع فى كثير من المناطق.

وتتميز الصخور الرسوبية بكثرة مابها من حفريات Fossils ، وهى البقايا والآثار الحيوانية والنباتية التى توجد فى طبقاتها . وتعتبر هذه الحفريات من أهم وسائل دراسة هذه الصخور ، لانها تبين بوضوح عمر الطبقات الصخرية ونوع الظروف المناخية والنباتية والحيوانية التى كانت سائدة خلال العصر الذى تكونت فيه وطبيعة المناطق التى أرسبت فيها من حيث كونها مناطق بحرية أو بحيرية أو وديان نهرية أومناطق صحراوية أوجليدية . ولهذا السبب فإن دراسة تتابع الطبقات وترتيبها الزمنى وما بها من حفريات تعتبر فى الوقت الحاضر علما مهما من علوم الجيولوجيا، وهو علم دراسة الطبقات Stratigraphy.

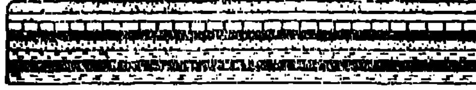
التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية :

توجد الصخور الرسوبيه فى تراكيب Structures كثيرة ومتنوعة، ففى بعض هذه التراكيب تكون الطبقات محافظة على تتابعها الزمنى بل وعلى امتدادها الأفقى نتيجة لعدم تعرضها للحركات الأرضية العنيفة ، بينما يكون ترتيبها فى بعضها الآخر مختلا إما نتيجة لحركات عنيفة أدت إلى زحف بعض الطبقات

القديمة فوق طبقات أحدث منها أو بسبب إزالة بعض الطبقات بفعل عوامل التعرية . وعلى هذا الأساس تقسم تراكيب هذه الصخور إلى قسمين هما : تراكيب متوافقة Conformable ، وتراكيب غير متوافقة Unconformable.

والمقصود بالتركيب المتوافق هو التركيب الذي تكون فيه الطبقات متتابعة من أسفل إلى أعلى على حسب ترتيبها الزمني دون أن تختفي من بينها طبقات أي عصر من العصور ، أما التركيب غير المتوافق فهو التركيب الذي لا تكون طبقاته متتابعة بنفس ترتيبها الزمني ، أو الذي تختفي فيه طبقات عصر واحد أو أكثر وأهم الظروف التي تؤدي إلى ذلك هي أن يتوقف الإرساب في المنطقة بعض الوقت بينما تعمل عوامل التعرية على إزالة الطبقات العليا التي تمثل عصراً من العصور أو أكثر ، ثم يعود الإرساب من جديد فيؤدي إلى تراكم طبقات جديدة فوق السطح الذي نحتته عوامل التعرية والذي يطلق عليه في هذه الحالة اسم سطح عدم التوافق Unconformity Surface (أنظر شكل ٣٥) .

ميل الطبقات Dip of Strata : المقصود بميل الطبقات هو امتدادها في مستوى غير أفقي ، فعلى الرغم من أن الطبقات تظل في كثير من التراكيب محتفظة باتجاهها الأفقي حتى بعد تعرضها لبعض الحركات الأرضية مثل الحركات الرأسية ، فإن هذه الحركات تؤدي في أغلب الحالات إلى تغيير هذا الاتجاه بحيث تصبح معظم الطبقات مائلة على المستوى الأفقي . وتتباين درجات الميل من موضع إلى آخر على حسب نوع الحركات الأرضية ودرجة تأثر الطبقات الصخرية بها، وتحسب درجة ميل أي طبقة بمقدار الزاوية التي تصنعها هذه الطبقة مع المستوى الأفقي، وهذه هي التي تعرف باسم زاوية الميل Angle of Dip ، وهي تقاس بواسطة جهاز خاص هو جهاز قياس الميل ، أو الكلينومتر Clinometer . ويجب ألا نخلط بين ميل الطبقات وانحدار سطح الأرض Slope ، فكثيرا ما تكون الطبقات أفقية في مناطق سطحها شديد الانحدار ،













شكل (٣٥) مراحل حدوث عدم التوافق في الطبقات الرسوبية

أو تكون مائلة في مناطق سطحها أفقي . ويطلق تعبير « مضرب الطبقة Strike of Stratum » على الخط الأفقي المتعامد على اتجاه ميل هذه الطبقة ، وإن كان جزء أو جانب من هذه الطبقة ظاهراً على السطح فيطلق عليه تعبير «مكشف الطبقة Outcrop of St. » ويتوقف اتساع مكاشف الطبقات على العلاقة بين اتجاه ميلها واتجاه انحدار سطح الأرض، فإذا كانت الطبقات مائلة في نفس اتجاه انحدار السطح فان مكاشفها تكون متسعة أما إذا كانت مائلة في الاتجاه المعاكس لاتجاه الانحدار فان مكاشفها تكون ضيقة ، وخصوصا إذا كانت متعامدة على السطح المنحدر (أنظر شكل ٣٧) .

الاسطح الطبقية Bedding Planes : ويقصد بها الأسطح التي تلتقي عندها الطبقات المتجاورة . ويكون السطح الطبقي واضحا إذا كانت الطبقتان المتجاورتان مختلفتين في التركيب اختلافا واضحا، كأن تكون إحداهما مكونة من حجر رملي والثانية من حجر جيري أو طيني . ومن الواضح أن الأسطح الطبقية تمثل سطوحا قديمة لقيعان بحار أو بحيرات أو أرضا يابسة قبل أن تغطى بالرواسب التي كونت الطبقات التي فوقها .

الطباقية الكاذبة False Bedding ويقصد بها انقسام الطبقة الواحدة بواسطة أسطح مستعرضة بحيث تبدو وكأنها مكونة من طبقات متتالية ، ويحدث ذلك على الشواطىء بسبب المد والجزر أو بسبب التيارات البحرية أو بسبب تغير قوتها . ولذلك فقد يطلق على هذه الظاهرة كذلك اسم طباقية التيار Current Bedding ، ومن الممكن أن تحدث الطباقية الكاذبة كذلك بسبب تغير اتجاه الرياح وقوتها ، (أنظر شكل ٣٨) .

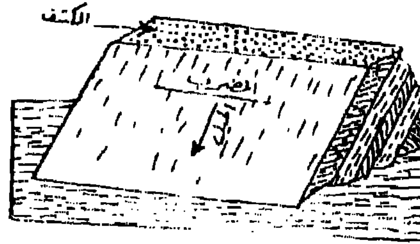
أنواع الرواسب Types of Sediments or Deposits :

من الواضح أن تنوع الصخور الرسوبية يتوقف قبل كل شيء على تنوع الرواسب التي كونتها. وتتنوع الرواسب فيما بينها نتيجة لعوامل كثيرة من أهمها الطرق التي نشأت بها هذه الرواسب والعوامل التي تدخلت في عمليات الترسيب والظروف التي تمت فيها هذه العمليات .

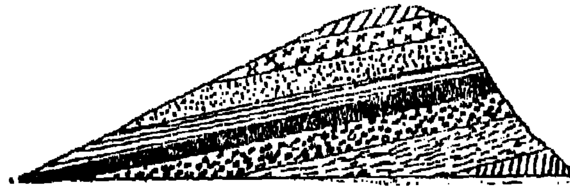
فعلى أساس الطرق التي نشأت بها فان هذه الرواسب تقسم عموما إلى ثلاثة أنواع هي :

١ ـ الرواسب التي نشأت بطريقة كيميائية مثل الأملاح التي تترسب من المحاليل المختلفة مثل ملح الطعام والجبس والنطرون .

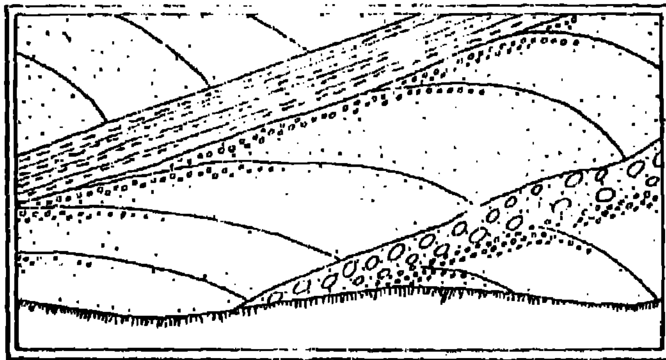
٢ ـ الرواسب التي نشأت بطريقة عضوية ، وتشمل كل الرواسب التي نشأت من أصل نباتي أو حيواني في البر أو في البحر ، حتى ولو كانت قد



شكل (٣٦) ميل الطبقات



شكل (٢٧) العلاقة بين انحدار سطح الأرض وميل الطبقات واتساع مكاشفها



شكل (٣٨) طباقية كاذبة

فقدت في الوقت الحاضر كل صلة لها بالكائنات الحية وتحولت إلى مواد صخرية مثل معظم الصخور الجيرية والفحم الحجري .

٣ — الرواسب التي نشأت بطريقة آلية ، وتشمل الرواسب التي نشأت نتيجة لعمليات التجوية الآلية وما ينتج عنها من تفكيك الصخور وتفتيتها .

أما على أساس العوامل والظروف التي تدخلت في عمليات الترسيب فإن الرواسب تنقسم إلى مجموعتين كبيرتين هما :

(١) رواسب بحرية . (٢) رواسب قارية .

أولا — الرواسب البحرية Marine Deposits :

وهي تشمل جميع الرواسب التي تتراكم في قاع البحار والمحيطات ، وهي تختلف فيما بينها تبعا لعوامل متعددة أهمها : عمق المياه ، ودرجة ملوحتها ، ونوع المواد التي تصل إليها من اليابس المحيط بها ، وحركات المد والجزر والأمواج والتيارات البحرية ، والحياة الحيوانية والنباتية التي تعيش فيها ، ويمكن تقسيمها عموما إلى ثلاثة أنواع هي :

١ — الرواسب الشاطئية Coastal deposits ، وهي غالبا رواسب خشنة تتكون من الرمال والحصى وربما بعض الأحجار المصقولة والمائلة للاستدارة كما هي الحال أمام كثير من السواحل الصخرية. ولقد كانت حركات المياه هي السبب في صقلها واستدارتها . ويتناقص حجم الرواسب الشاطئية كلما توغلنا في البحر بعيدا عن الشاطىء . وتتميز هذه الرواسب عموما بكثرة ما يختلط بها من بقايا نباتية وحيوانية ، وبأنها لا توجد في طبقات ظاهرة ، وإنما توجد مختلطة بعضها ببعض . ويقتصر وجودها عموما على الرف القارى ، وتكاد تختفي في الأعماق التي تزيد عن ٢٠٠ متر .

٢ — رواسب البحار العميقة ، وهي تتدرج من الرواسب الشاطئية. وتوجد

في الأعماق التي تزيد على ٢٠٠ متر ، وتتكون في جملتها من مواد ناعمة تزداد في دقة حبيباتها كلما ابتعدنا من الساحل ، ومصدرها الرئيسي هو الرواسب الدقيقة التي تحملها الأنهار والرياح من اليابس ، والتي تظل بسبب دقتها عالقة بالمياه لمسافات كبيرة داخل البحر ثم تترسب نحو القاع ببطء شديد وتختلط بها بعض المواد العضوية ولكنها أقل منها في الرواسب الشاطئية ، كما أنها تتناقص كلما زاد العمق وزاد البعد عن الشاطىء .

وتتميز الأعماق السحيقة من المحيطات ، وهي الأعماق التي تزيد على ثلاثة آلاف متر بوجود رواسب مجهرية من نوع خاص يطلق عليها اسم الأوز Ooze . وهي مكونة في جملتها من خلايا حيوانية مجهرية وبقايا كائنات حية دنيئة مضافاً إليها بقايا الحيوانات التي تعيش عند السطح وتترسب بقاياها نحو القاع بعد موتها .

ثانياً - الرواسب القارية Continental Deposits :

وهي تشمل جميع الرواسب التي تتراكم على سطح القارات بما في ذلك الرواسب التي تتراكم في قاع البحيرات أو في مجاري الأنهار ، وهي تنقسم على أساس العوامل التي تدخلت في ترسيبها إلى أربعة أنواع هي :

١ - رواسب هوائية Eolian deposits: وهي الرواسب التي تحملها الرياح وتلقي بها عندما تهدأ سرعتها ، وهي تتكون في جملتها من أتربة ورمال تختلف أحجامها على حسب قوة الرياح . ومن أمثلتها الرمال التي تتكون منها الكثبان الرملية والاتربة التي تتكون منها بعض أنواع التربة مثل تربة اللويس Loess . وكلما صغرت أحجام حبات هذه الرواسب استطاعت الرياح أن تحملها إلى مسافات أبعد . فالمعروف مثلا أن تربة اللويس التي توجد في شمال الصين قد تكونت من الاتربة التي نقلتها الرياح من شرق أوروبا وغرب آسيا .

رواسب فيضية Alluvial deposits وتشمل الرواسب التي تحملها وترسبها المياه الجارية ، وتتوقف أحجامها على سرعة المياه ، فهي تتراوح بين الحبيبات الصلصالية الدقيقة التي يمكن أن تظل عالقة بالمياه البطيئة أو الراكدة والاحجار الكبيرة التي يمكن أن تدفعها السيول الجارفة على منحدرات الجبال إلى السهول المجاورة. ومن أهم ماتتميز به الرواسب الفيضية أنها ترسب دائما بترتيب معين بحيث ترسب المواد الثقيلة أولا ثم ترسب فوقها المواد الاخف منها بالتوالي ، كما أنها ترسب بنفس الترتيب على طول مجرى النهر أو السيل حيث تتناقص أحجامها بالتدريج كلما تناقصت سرعة جريان الماء .

٣ — رواسب بحيرية Lacustrine deposits : وهي تشمل رواسب البحيرات المالحة ورواسب البحيرات العذبة ، وتتكون الأولى في جملتها من الاملاح التي تترسب نتيجة لتبخر المياه ، أما الثانية فتتكون عادة من مواد طينية وصلصالية ناعمة تشبه رواسب الانهار البطيئة جدا .

٤ — رواسب جليدية Glacial deposits : وتشمل جميع الرواسب التي يحملها الجليد عند زحفه على سطح الارض ثم يرسبها عندما يأخذ في الانصهار، وأشهر أنواعها هي الركامات الجليدية Moraines . وأهم ما يميزها أنها لا توجد غالبا بترتيب واضح بل تختلط فيها الرواسب الناعمة بالرواسب الخشنة وقطع الاحجار أو الكتل الصخرية . ويتميز الجليد عن غيره من عوامل نقل الرواسب مثل الرياح والمياه الجارية بأنه يستطيع أن ينقل كتلا صخرية كبيرة إلى مسافات بعيدة جدا . ومثال ذلك الكتل الصخرية الضخمة التي يطلق عليها اسم Erratics (أو الصخور الشاردة) وهي كتل صخرية ضخمة نقلها الجليد مسافات بعيدة وألقى بها في مناطق ذات تركيب صخري مختلف بحيث تبدو هذه الكتل غريبة فوقه ، ومن أمثلة هذه الرواسب كذلك الرواسب المعروفة باسم الصلصال الجلاميدي Boulder Clay ، وهو عبارة عن كتل مكونة

من طحين صخرى Rock Flower يشبه الصلصال فى دقة حبيباته وتختلط به كثير من الاحجار ، وينشأ هذا الدقيق نتيجة لاحتكاك الجليد بالصخور التى يزحف فوقها أو بجوارها أثناء انحداره على جوانب الجبال .

تماسك الرواسب وتكون الصخور :

تظل المواد الرسوبية عموما مفككة بعد ترسيبها إلا إذا طرأ عليها مايؤدى إلى تماسكها ، وعندئذ تتكون منها الصخور التى تتباين فيما بينها على حسب نوع الرواسب والطريقة التى تماسكت بها ، ويحدث هذا التماسك بطريقة أو أكثر من الطرق الآتية :

١ ـ ترسيب مواد لاصقة بين حبات المواد الرسوبية ، والمقصود بالمواد اللاصقة هو المواد الدقيقة التى يمكن أن تملأ الفراغات التى بين حبات الرواسب فتؤدي إلى تماسكها . والمواد التى تصلح لهذا الغرض كثيرة ومتنوعة ومن أمثلتها الجير والطين والصلصال وأكاسيد بعض المعادن مثل أكاسيد الحديد وغيرها . ويعتبر ترسيب مثل هذه المواد ضروريا جدا لتماسك الرواسب الخشنة مثل الرمل والحصى . وتتوقف كثير من صفات الصخر على نوع المواد التى تؤدى إلى تماسك حباته ، فالرمال التى تتماسك حباتها بواسطة الجير يتكون منها ما يعرف بالحجر الرملى الجيرى ، أما التى تتماسك حباتها بواسطة أكسيد الحديد فيتكون منها ما يعرف بالحجر الرملى الحديدى ، والأول منها أقل صلابة من الثانى .

٢ ـ وقوعها تحت الضغط بسبب تراكم بعضها فوق بعض أو تراكم رواسب أخرى فوقها ، ولكن هذا العامل لا يكفى وحدة لتماسك الرواسب الخشنة ، بينما يكفى لتماسك الرواسب الدقيقة مثل الرواسب الطينية والصلصالية .

٣ ـ جفافها وخروج المياه من بين حباتها بسبب التبخر أو نتيجة

الضغط ، كما يحدث للرواسب الطينية والصلصالية ، لأن تجفيف مثل هـذه المواد يكفي لالتصاق بعضها ببعض وتحولها إلى أحجار طينيـة ، ولكنها تكون عادة قليلة الصلابة .

أمثلة للأنواع الرئيسية من الصخور الرسوبية :

تنقسم هذه الصخور إلى ثلاث مجموعات رئيسية هي : الصخور الجيرية ، والصخور الرملية والصخور الطينية . وقد يحدث أحياناً أن يكون الصخر مكوناً من خليط من مواد متباينة بحيث يصعب ضمه إلى أي مجموعة من هذه المجموعات، ومثل هذا الصخر يوضع ضمن مجموعة خاصة تعرف باسم (الجمعات الصخرية Conglomerates) ، وفيها يختلط الطين بالرمل والحصى وغيرها .

أولا ــ الصخور الجيرية (Calcareous Rocks (or Limestones :

تعتبر هذه الصخور من أهم المكونات الصخرية لقشرة الأرض ، وتوجد منها نطاقات عظيمة السمك والاتساع في كل القارات ، وقـد يصل سمكها في بعض المناطق إلى بضعـة كيلو مترات ، ويكفي للدلالة على ذلك أنها هي التي تتكون منها معظم سلاسل الجبال الالتوائية القـديمة والحديثة في العالم ، كما أنها توجد في نطاقات أخرى عظيمة الاتسـاع على سواحل كل البحار والمحيطات الحالية وفي المناطق التي كانت تشغلها بحار قديمة .

وتتميز هذه الصخور عموما بأنها تذوب في الأحماض، ولهذا فانها تذوب ولو ببطء شديد ، في مياه الأمطار التي تحمل عند سقوطها بعض ثاني أوكسيد الكربون من الجـو ، ولذلك فان كثيرا من مناطقها تشتهر بكثرة كهوفهـا وأنهارها السفلية وغير ذلك من المظاهر التي يطلق عليها عموما تعبير « المظاهر الكارستية Carstic Features (نسبة إلى منطقة من هذا النوع هي منطقـة

كارست فى جبال الألب الدينارية فى غرب يوجوسلافيا) وقد أصبحت الصخور الجيرية لهذا السبب من أعظم خزانات المياه الجوفية فى بعض البلاد .

وترجع الصخور الجيرية فى جملتها إلى أصل عضوى ، فقد تكون معظمها نتيجة لتراكم القواقع وعظام الحيوانات البحرية المختلفة بكميات كبيرة فى قيعان البحار خلال العصور الجيولوجية المختلفة . فمن المعروف أن معظم الحيوانات البحرية لها قدرة كبيرة على استخلاص الجير من ماء البحر لاستخدامه فى بناء عظامها أو محاراتها . وإلى جانب ذلك فقد نشأت بعض الصخور الجيرية بطريقة كيميائية نتيجة لترسيب الجير من الماء الذى يكون حاملا لبعض منه ، إلا أن الصخور التى تتكون بهذه الطريقة لا توجد إلا فى أماكن محدودة جدا ، وهى تتميز عن الصخور الجيرية العادية بأنها تكون فى أغلب الأحيان متبلورة . ومن أشهر أنواعها أعمدة الاستالاكتيت Stalactites والاستالاجميت Stalagmites [1] ، التى توجد فى كهوف مناطق الصخور الجيرية . وتكوينات الترافرتين Travertine الجيرية التى تترسب حول فوهات بعض العيون التى يكون بعض الجير مذابا فى مياهها .

والصخور الجيرية فى جملتها بيضاء اللون إلا إذا اختلطت بمواد أخرى ملونة مثل الطين أو أكاسيد الحديد . وهى تتباين فيما بينها تباينا كبيرا فى درجة الصلابة ، فمنها ما هو شديد الصلابة مثل الدولوميت ومنها ما هو هش جدا مثل الطباشير . وفيما يلى وصف مختصر لبعض الصخور الجيرية المشهورة .

(١) أعمدة الاستالاكتيت هى الأعمدة التى تهبط من أعلى الكهوف وأعمدة الاستالاجميت هى التى ترتفع فوق قاعه إلى أعلى . وكلاهما يتكون نتيجة لتكرار ترسيب الجير فى المواضع التى تميل نقط المياه التى تحمله إلى التجمع فيها .



شكل (٣٩) الأعمدة الهابطة (استالاكتيت) والأعمدة الصاعدة (استالاجميت) فى أحد كهوف مناطق الصخور الجيرية .

الطباشير Chalk : وهو حجر ناصع البياض قليل الصلابة ، وتوجد منه طبقات عظيمة السمك والامتداد فى جهات مختلفة من العالم ، ويرجع تكوينه عمـــوما إلى العصر الكريتاسى (الطباشيرى) . وهو مكون من هيازات مجهرية لكائنات بحرية خاصة كانت عظيمة الانتشار فى البحار الدافئة خلال العصر الكريتاسى، وتعرف باسم فورامينيفرا Foraminofera . وليس

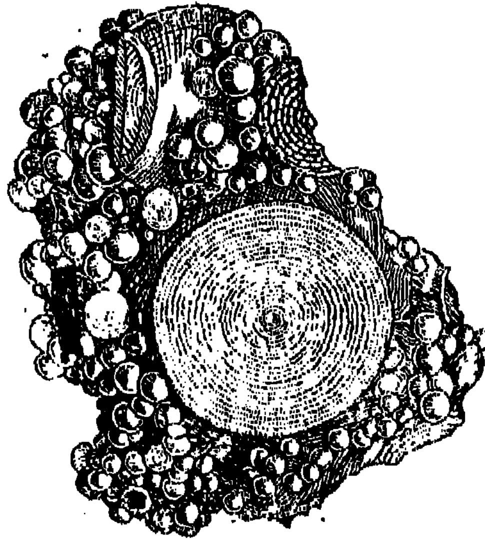
الطباشير الذي يستخدم في الكتابة إلا نوعا من أنواع الأحجار الطباشيرية (أنظر شكل ٣٤) .

الحجر الجيري النوموليتي Nummulitic limestone : وهو أشد صلابة من الطباشير ، وأهم مميزاته أنه مكون من محارات مستديرة متماسكة تشبه في مظهرها قطع النقود المعدنية. وقد تكونت أغلب طبقاته خلال عصر الأيوسين الذي يشتهر لهذا السبب باسم عصر النوموليت. وهو يظهر في بعض الأماكن على منحدرات جبال المقطم وفي الهضاب المطلة على وادي النيل ابتداءاً من جنوب القاهرة حتى مدينة قنا (أنظر شكل ٣٥) .

الحجر الجيري الأوليتي (أو المحبب) Oolitic limestone : وهو نفس الحجر الذي يطلق عليه أحيانا اسم الحجر الجيري البطارخي ، لأنه يتكون من حبات من الرمال الجيرية المستديرة التي تشبه بيض الأسماك ، وتتكون كل حبة من هذه الحبات من نواة دقيقة جدا من الرمل أو فتات القواقع ، وتحيط بها طبقات رقيقة جدا من الجير ، الذي يترسب فوقها على دفعات نتيجة لتكرار تبللها بالماء المحمل بالجير ثم تبخر هذا الماء ، وهذه الحبات هي التي تتكون منها الرمال البحرية الجيرية ، وهي رمال خشنة مختلفة عن الرمال الصحراوية الكوارتزية . وتعمل الرياح في كثير من المناطق على توزيع هذه الرمال أو تجميعها في سلاسل من الكثبان التي تمتد على طول بعض الشواطيء . وقد تتماسك رمال هذه الكثبان بمرور الزمن نتيجة لترسيب الجير بين حباتها فتتحول بالتدريج إلى الحجر الجيري الأوليتي . وهو يتميز بقدرته الكبيرة على خزن المياه، ولذلك فانه يعتبر مصدرا مهما للمياه الجوفية في المناطق الساحلية . فعلى طول الساحل الشمالي لصحراء مصر الغربية وشمال ليبيا مثلا يعتمد الأهالي اعتمادا أساسيا في حياتهم على المياه المخزونة في طبقات هذا الحجر . وتكون هذه المياه غالبا قريبة من السطح . ويمكن الوصول إليها بحفر آبار تتراوح أعماقها بين مترين وأربعة أمتار .



شكل (٤٠) قواقع الفورامينفرا التي يتكون منها الحجر الطباشيري كما تبدو تحت المجهر



شكل (٤١) حجر جيري نوموليتي

الدولوميت Dolomite : وهو صخر جيري مكون من اختلاط الجير (كربونات الكالسيوم) بكربونات المغنسيوم بنسب متعادلة تقريبا . وهو يتكون غالبا في مناطق البحيرات والمستنقعات التي تحتوي مياهها على كربونات المغنسيوم . إذ أن هذه المياه تؤثر على الصخور الجيرية المجاورة لها فتحل كربونات المغنسيوم محل قسم من كربونات الكالسيوم .

الصخور المرجانية : وهي صخور جيرية صلبة تتكون في بعض البحار المدارية الضحلة بواسطة حيوانات المرجان Coral . وهي في جملتها عبارة عن المساكن التي يبنيها هذا الحيوان لنفسه من الجير الذي يستخلصه من ماء البحر، وهي توجد عادة متجمعة في مستعمرات كبيرة تزيد أحجامها بالتدريج ببناء مساكن جديدة وبتراكم هياكل الحيوانات المرجانية التي تموت فيها أو حولها. وهذه المستعمرات هي التي تشتهر باسم « الشعاب المرجانية Coral Reefs » .

ويشترط لحياة المرجان عدة شروط أهمها : أن تكون المياه ضحلة بحيث لا يزيد عمقها عن ٥٠ مترا ، وأن تكون دافئة بحيث لا تقل درجة حرارتها عن ٢٠° مئوية ، وألا تصل إليها من اليابس مياه عذبة مختلطة بالرواسب الطينية . ويعتبر البحر الأحمر من أحسن الأمثلة لهذا النوع من البحار . ولذلك فان سواحله تكثنفها كثير من الشعاب المرجانية ، وهي من الأخطار التي تتعرض لها الملاحة أمام هذه السواحل . ومع ذلك فان أكبر نطاق من الشعاب المرجانية في العالم هو النطاق الذي يمتد لمسافة ١٥٠٠ كيلو متر في غرب المحيط الهادي في اتجاه شمالي جنوبي تقريبا بالقرب من السواحل الشمالية الشرقية لاستراليا . وهذا النطاق هو الذي يشتهر باسم « الحاجز المرجاني العظيم Great Barrier Reef » ويبلغ عرضه في المتوسط حوالي ١٨ كيلومترا.

وقد تكونت في بعض المواضع الضحلة في المحيطين الهادي والهندي

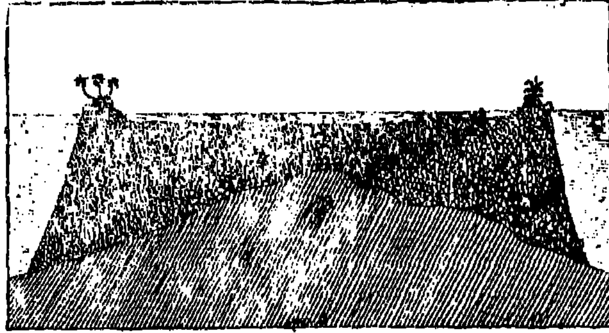
سلاسل من الجزر المرجانية التي تكونت من الشعاب التي بناها المرجان على حافات بعض الجبال التي توجد فوق قاع المحيط والتي تقترب قممها من سطح الماء ، بحيث تتكون فوقها مناطق بحرية ضحلة . وتتكون من هذه الشعاب حلقات من الجزر التي تتوزع على الأطراف الخارجية لهذه القمم . ويطلق على كل حلقة من هذه الحلقات اسم « الأتول Atoll » أي الجزر الحلقية ، وهي تحصر بداخلها مناطق بحرية ضحلة .



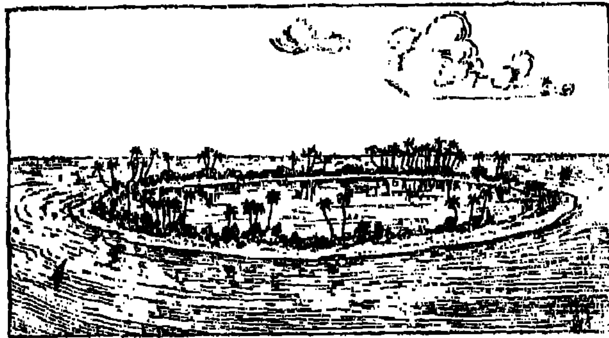
شكل (٤٢) أحد الشعاب المرجانية في البحر الأحمر .

ثانيا — الصخور الرملية Sandstones :

لا تقل هذه الصخور أهمية في تركيب القشرة الارضية عن الصخور الجيرية ولكنها تختلف عنها في نوع الرواسب التي كونتها ، فبينما تتكون الصخور الجيرية عموما من رواسب بحرية فان الصخور الرملية تتكون من رمال قارية كوارتزية متخلفة من تفتت الصخور القارية بفعل التجوية ، ومع ذلك فان تكون الحجر الرملي يلزم له دائما ترسيب مادة لاصقة بين حبات الرمل ،



شكل (٤٣) تكوين الجزر المرجانية على أطراف قمة جبلية غاطسة



شكل (٤٤) جزر مرجانية حلقية (أتول)

مثل كربونات الكلسيوم (الجير) أو أوكسيد الحديد أو السيليكا ، ويستمد الحجر كثيرا من صفاته من هذه المادة ، ولذلك فقد تكونت منه أنواع متباينة مثل الحجر الرملي الجيري Calcareous Sandstone الذي تماسكت رماله بواسطة الجير ، والحجر الرملي الحديدي Ferruginous S. الذي تماسكت رماله بواسطة أوكسيد الحديد ، والحجر الرملي السيليكي Cilioeous S. الذي تماسكت رماله بواسطة السيليكا . وأقل هذه الأنواع صلابة هو الحجر الرملي الجيري ، أما أشدها صلابة فهو الحجر الرملي الحديدي الذي يأخذ مادة لون

أوكسيد الحديد الأحمر ، ويتكون منه في مصر الجبل الأحمر ، وهو جبل صغير موجود إلى الشرق من القاهرة . ونظرا لشدة صلابة هذا الحجر فقد يطلق عليه أحيانا اسم « حجر الخرسان » ، وهو يستخدم بكثرة في رصف الطرق وفي صناعة أحجار الطواحين .

من أهم مميزات الصخور الرملية عموما أنها كبيرة المسام ، ولذلك فانها هي أكثر أنواع الصخور نفاذية للماء (Permeability) وأقدرها على تخزين كميات كبيرة منه . والواقع أن أعظم خزانات المياه الجوفية في العالم توجد في طبقات هذه الصخور . ومع ذلك فان هذه الصخور تتباين فيما بينها تباينا كبيرا من حيث مقدرتها على نفاذية المياه وتجميعها . وتتوقف هذه المقدرة بصفة خاصة على حجم الحبات الرملية من ناحية وعلى وجود طبقة صماء تحتها لمنع تسرب مياهها إلى أسفل من ناحية أخرى . وكلما كانت الحبات الرملية كبيرة كان الصخر أكثر نفاذية . وتنقسم الرمال عادة على أساس حجم حباتها إلى ثلاث درجات هي :

١ ـ الرمال الناعمة Fine ويتراوح قطر حباتها بين ٠٫٠٥ و٠٫١ ملليمتر .

٢ ـ الرمال المتوسطة Medium ويتراوح قطر حباتها بين ٠٫١ و٠٫٧٥ ملليمتر

٣ ـ الرمال الخشنة Course ويتراوح قطر حباتها بين ٠٫٧٥ و٢٫٥ ملليمتر .

ومعنى ذلك أن قطر حبات الرمل عموماً يتراوح بين ٠٫٠٥ و٢٫٥ ملليمتر فإذا ماقل قطر الحبات عن ٠٫٠٥ من الملليمتر فان الرواسب تعتبر من الرواسب الطينية أو الصلصالية ، وإذا زاد قطرها عن ٢٫٥ ملليمتر فانها تدخل في باب الحصى .

ويعتبر الحجر الرملي النوبي Nubian Sandstone من أشهر أنواع الأحجار الرملية وأوسعها انتشارا . وتقعد طبقاته تحت سطح الأرض في كل نطاق

الصحراء الكبرى ونطاق السودان في إفريقية ، وتواصل امتدادها كذلك في كل البلاد العربية تقريبا في غرب آسيا . وتعتبر هـذه الطبقات من أعظم خزانات المياه الجوفية في العالم ، وهي المصدر الذي تستمد منه معظم واحات العالم العربي وشمال إفريقيا المياه اللازمة لعمرانها . ويتميز هذا الحجر كذلك بشدة صـلابته . وقد تكونت معظم طبقـاته في أواخر الزمن الجيولوجي الاول وأوائل الزمن الجيولوجي الثاني .

الصخور الطينيـة Mudstones :

وهي صخور واسعة الانتشار في مناطق السهول الفيضية والوديان النهرية والبحيرات العذبة القديمة والحديثة ، وأهم ما يميزها عن الصخور الرملية أنها دقيقـة الحبيبات ، ولا يزيد قطر حبيباتهـا عموما عن ٠,٠٥ من المليمتر (كما سبق أن ذكرنا) . وأشـد أنواع الطين Mud (أو الغرين Silt) نعومة هو الصلصـال الذي لا يزيد قطر حبيباته عن ٠,٠٠٢ من المليمتر . ونظرا لدقة حبيبات هذه الصخور بالنسبة للصخور الرملية فانها تكون أكثر منها مسامية More Porous بمعنى أن عدد المسام التي توجد في أي كتلة منها يكون أكبر بكثير من عدد المســام الموجودة في كتلة مساوية لها من الصخور الرملية ، ومع ذلك فان هذه المسام تكون دقيقة بدرجة لا تسمح للماء أو غيره من السوائل أن ينفذ خلالها أو أن يتجمع فيها ، وعلى هذا الأساس فان الصخور الطينيـة تكون عادة عديمة النفاذية حتى أنها تبدو صماء Impermeable بينما تكون الصخور الرملية كبيرة النفاذية Permeable ، على الرغم من أن الصخور الرملية أقل مسامية Less Porous من الصخور الطينية . ونظرا لدقة حبيبات الطين فانه يمكن أن يتماسك لمجرد وقوعه تحت الضغط أو لمجرد جفافه إن كان مبللا . والصخور الطينية عموما قليلة الصلابة جدا إذا ماقورنت بمعظم الصخور الرسوبية الأخرى .

وتحتوى المواد الطينية على مركبات من سليكات الألومنيوم التى تتحلل من معادن الفلسبار (المستمدة من نفس الصخور) مثل الكوارتز والميكا . وتأخذ المواد الطينية ألواناً مختلفة على حسب نوع الصخور التى استمدت منها ونوع المواد الأخرى التى تختلط بها ، فقد يميل لونها إلى البياض إذا كانت مختلطة بمواد جيرية ، أو إلى الاحمرار إذا اختلطت بها أكاسيد حديدية ، أو إلى السواد أو الاخضرار إذا اختلطت بها أكاسيد منجنيزية أو مواد نباتية متحللة ، أو الاصفرار إذا اختلطت بها رمال كوارتزية ناعمة . والمعروف ان مناطق التربات الطينية هى أهم مناطق الانتاج الزراعى فى العالم ، ولكنها تتباين فيما بينها على حسب نوع المواد الأخرى التى تختلط بها فتقلل أو تزيد من خصوبتها ، ومن أشهر أنواعها التربة السوداء التى تختلط بها كثير من المواد العضوية المتحللة ، والتربة الحمراء التى تختلط بها أكاسيد حديدية ، والتربة الصفراء التى تختلط بها الرمال . والواقع أن اختلاط التربة الطينية بنسبة من الرمال أمر ضرورى لتسهيل نفاذ الماء فيها وتسهيل مهمة حرثها ، وتوصف مثل هذه التربة بأنها تربة خفيفة ، أما التربة الطينية التى تخلو من الرمال فتوصف بأنها تربة ثقيلة وتكون فلاحتها صعبة نسبيا بسبب شدة تماسكها وعدم نفاذ الماء فيها .

وتوجد الصخور الطينية فى الطبيعة فى طبقات يتباين سمكها على حسب كمية المواد الطينية المترسبة وتغير ظروف الإرساب من وقت إلى آخر ، فاذا ترسبت المواد الطينية بكميات كبيرة خلال فترات طويلة ولم تتغير ظروف الإرساب تغيرا يذكر خلال كل فترة من هذه الفترات فان الطبقات المتكونة تكون عظيمة السمك ، أما إذا حدث الترسيب فى فترات قصيرة تفصل بينها فترات يتوقف فيها الإرساب أو إذا كانت ظروف الإرساب كثيرة التغير فان الطبقات المتكونة تكون عادة رقيقة ، بل إنها قد تكون فى بعض الحالات رقيقة جدا بدرجة تجعلها أشبه بالأوراق المتلاصقة . ويتكون منها فى هذه

الحالة نوع خاص من الحجر الطيني يطلق عليه اسم الحجر الطيني الورقي أو الصفائحي Shale .

ثالثا — الصخور المتحولة

Metamorphic Rocks

المقصود بهذه الصخور هو الصخور التي كانت في الأصل صخورا نارية أو رسوبية ولكنها تعرضت لظروف مختلفة عن الظروف التي نشأت فيها فأعيد تبلورها وتحولت إلى صخور جديدة تختلف في بعض صفاتها الرئيسية (مثل درجة الصلابة وشكل البلورات وترتيبها) من الصخور الأصلية التي تحولت منها ، إلى وكثيرا ما تضاف إليها أثناء عملية التحول مواد معدنية جديدة لم تكن موجودة في الصخر الأصلي .

وأهم العوامل التي تسبب التحول Metamorphism هي الحرارة الشديدة إما بمفردها أو مع الضغط الشديد ، وعلى هذا الأساس ينقسم التحول إلى نوعين رئيسيين هما :

(١) التحول بالحرارة Thermal Metamorphism ، ويحدث نتيجة لتعرض الصخور إلى حرارة شديدة تؤدي إلى انصهارها أو حرقها ثم إعادة تبلورها ، ويحدث هذا عندما تندفع في وسط هذه الصخور كتل نارية مثل الباثوليث واللاكوليث والسدود وقد يؤدي هذا التحول إلى تكون معادن جديدة في الصخر . وخصوصا في أجزائه الملاصقة للكتلة النارية . وتتوقف كمية التحول ودرجته على تركيب الصخر المتحول نفسه وعلى حجم الكتلة النارية المندفعة في وسطه ومقدار ما يوجد بها من محاليل ، إذ أن وجود مثل هذه المحاليل يساعد على التحول وعلى تكون المعادن الجديدة . وتتميز الصخور التي تتحول بهذه الطريقة بكبر بلوراتها ، ولذلك فإن نسيجها يكون

غالبا صيباء ومن أمثلتها الرخام الذي يتحول من الحجر الجيرى، والكوارتزيت الذي يتحول من الكوارتز .

٢ ـ التحول بالحرارة والضغط معا (التحول الاقليمى) : إن هذا النوع من التحول أكثر حدوثا من التحول بالحرارة وحدها ، وهو يحدث فى نطاقات واسعة ، ولذلك فانه يعرف كذلك بالتحول الإقليمى . ومع ذلك فان كمية الصخور المتحولة ودرجة تحولها تتوقف على شدة الحرارة وشدة الضغط اللذين تتعرض لها الصخور وعلى كمية المياه والمحاليل التى تساعد الصخور على التحول عندما تختلط بها . ويكون التحول بهذه الطريقة غالبا أشد من التحول بالحرارة وحدها لأنه لا يؤدى إلى إعادة بلورة الصخر أو تكوين معادن جديدة فيه فحسب بل يؤدى فى نفس الوقت إلى إعادة ترتيب بلوراته وترتيب معادنه فى نظام جديد يتفق مع الظروف الجديدة، وقد يؤدى أيضا إلى خروج بعض عناصره ، ولذلك فان الصخر الذي يتحول بهذه الطريقة يكون غالبا مختلفا اختلافا يكاد يكون تاما عن الصخر الأصلى الذي تحول منه .

ويرتبط هذا النوع من التحول بحركات القشرة الأرضية ، وخصوصا حركات الانثناء التى تتعرض بسببها طبقات الصخور للضغط الشديد الذي يؤدى بدوره إلى ارتفاع درجة حرارتها والصفة الغالبة فى الصخور المتحولة بالضغط والحرارة معا هى أن نسيجها يكون صفائحيا بسبب الضغط الذي يؤدى إلى ترتيب البلورات فى صفوف وطبقات متوازية تقريبا، ومن أهم الصخور المتحولة التى تكونت بهذه الطريقة النيس الذي يتحول غالبا من الصخور النارية ، إلا أنه قد يتحول كذلك من الصخور الرسوبية ، ثم الشيست الذي يتحول من الصخور النارية ، ثم الاردواز الذي يتحول عادة من الصخور الطينية .

امثلة للصخور المتحولة المشهورة : .

١ — النيس Gneiss : وهو فى الغالب متحول من الصخور النارية

وخصوصاً من الجرانيت ، ولكنه قد يكون متحولا في بعض الأحيان من الصخور الرسوبية ، ويكون تركيبه المعدني عادة متشابهاً مع تركيب الصخر الذي تحول منه . ويكون نسيجه خشناً بسبب كبر بلوراته نسبيا ، وتكون هذه البلورات في بعض أنواع هذا الصخر مرتبة في طبقات أو صفوف متصلة أو متقطعة . وقد تكون كل طبقة أو كل صف من الصفوف مكونة من معدن واحد من المعادن التي تدخل في تركيب الصخر ، ففي النيس المتحول من الجرانيت مثلا قد نجد صفوفا من الميكا متعاقبة مع صفوف أخرى من الكوارتز والفلسبار . ويسمى النيس عادة باسم الصخر الذي تحول منه ، أو باسم المعدن السائد فيه ، فهناك مثلا نيس جرانيت ونيس مسكوفيت (نسبة إلى الميكا السوداء) ونيس هورنبلند وهكذا .

الشيست Schist : وهو يشبه النيس في أنه متحول غالباً من الصخور النارية . وقد اشترك في تحوله عاملا الضغط والحرارة الشديدين ، ولكنه يتميز عن النيس بصغر بلوراته التي تكون مرتبة في صفائح متلاصقة يمكن فصل بعضها عن بعض على طول سطوح متوازية . وتوجد من هذا الصخر أنواع يختلف بعضها عن بعض على حسب نوع الصخر الذي تحول منه وعلى حسب المعادن السائدة فيه ، فمنه على سبيل المثال شيست الميكا وفيه تسود الميكا التي تظهر في صفائح واضحة ذات سطوح متوازية، وشيست الهورنبلند وشيست الجرافيت . وعلى أي حال فإن الصخر يكون مكوناً من أكثر من معدنين من هذه المعادن .

٣ ـ الاردواز Slate : وهو متحول من الصخور الطينية ، ويختلف لونه تبعاً لاختلاف ألوان هذه الصخور ، فمنه الاردواز الأسود وهو النوع الشائع ومنه الاردواز الاحمر والأخضر . وهو مكون من طبقات رقيقة يلتصق بعضها ببعض على طول سطوح متوازية . وهو يتشقق على طول هذه السطوح، ويدل ترتيب طبقاته على أن تحوله قد حدث بسبب الحرارة والضغط

معا ، وهو ذو نسيج حبيبي دقيق ، ويمكن استخدامه في أغراض كثيرة مثل صناعة السبورات وألواح الكتابة وتغطية سقوف المباني في الأقاليم المطيرة .

٤ - الرخام Marble : وهو متحول من الحجر الجيري بسبب الحرارة الشديدة التي يتعرض لها عندما تندفع بين طبقاته مواد جوفية منصهرة . ولذلك فانه يوجد حول السدود والعتبات واللاكوليث وغيرها من تكوينات الصخور النارية المتدخلة ، حيث يؤدي اندفاع المواد المنصهرة إلى انصهار الصخور الجيرية الملاصقة لها وإلى تبلورها أثناء برودتها وتحولها إلى صخر متبلور جديد هو الرخام . وتكون البلورات مكونة عموما من حبيبات الكالسيت . وقد تكون هذه الحبيبات دقيقة جدا في بعض أنواع الجرانيت بحيث لا تسهل رؤيتها بالعين المجردة بينما تكون في بعضها الآخر كبيرة لدرجة تعطي للصخر نسيجا خشنا . واللون الغالب في الرخام هو اللون المائل إلى البياض إذا كان نقيا ، ولكنه قد يوجد كذلك بألوان أخرى تميل إلى السواد أو الاخضرار أو الاحمرار إذا ما اختلطت به شوائب ملونة مثل أكاسيد المنجنيز أو الحديد . وهو يشبه الحجر الجيري في أنه يتفاعل مع حامض الهيدروكلوريك ، وتنطلق منه فقاعات من ثاني أوكسيد الكربون عند حدوث هذا التفاعل .

٥ - الكوارتزيت Quartizite : وهو متحول من الحجر الرملي بطريقة مشابهة للطريقة التي يتحول بها الحجر الجيري إلى رخام ، أي نتيجة لاندفاع مواد جوفية منصهرة بين تكويناته ، حيث يؤدي ذلك إلى انصهار الصخر وإعادة تبلوره ، وفي هذه الحالة تتماسك حبات الكوارتز تماسكا شديدا جدا بواسطة السيليكا التي تترسب بينها، ويكون الصخر لهذا السبب شديد الصلابة جدا ، وإذا حدث فيه كسر فان الكسر يخترق حبات الكوارتز نفسها بسبب شدة تماسكها ، وذلك بخلاف الصخر الرملي الذي إذا كسر فان الكسر يتوزع حول هذه الحبات . ويميل الكوارتزيت عادة إلى البياض إلا إذا اختلطت به شوائب ملونة تعطيه ألوانا أخرى مثل الأسود والأحمر .

الأهمية الجيومورفولوجية للتركيب الصخرى

إن دراسة التركيب الصخرى للقشرة تتباين فى أهدافها وأساليبها بقدر تباين الأغراض التى تدرس من أجلها ، وهى أغراض كثيرة ومتنوعة ، فعلى الرغم من أن دراستها تعتبر أساسية فى كل فروع الجيولوجيا فان الجوانب التى يركز عليها الباحث فى الجيولوجيا الاقتصادية تختلف عن الجوانب التى يركز عليها الباحث فى الجيولوجيا التاريخية أو جيولوجية الميـاه الأرضية . وعلى الرغم من أن الجغرافيين تهمهم كذلك دراسة الصخور فان الجوانب التى يهتم بها الباحث فى جغرافية الثروة المعدنية أو جغرافية البترول تختلف عن الجوانب التى يهتم بها الباحث فى الجيومورفولوجيا أو فى جغرافية المياه أو جغرافية التربة أو فى غير ذلك من الموضوعات المتشعبة التى تتضمنها العلوم الجغرافية .

ولما كانت الجيومورفولوجيا تهتم بصفة خاصة بدراسة أشكال التضاريس وماطرأ عليها فى الماضى ومايطرأ عليها فى الحاضر والمستقبل من تغير نتيجة لما تعرضت له وما تتعرض له من مؤثرات فانها تحتـاج من غير شك إلى معرفة الطريقة التى يتأثر بها كل نوع من أنواع الصخور إذا تعرض لأى عامل من العوامل التى تؤثر فيه . وقد أوضحنا فى دراستنا السابقة أن الصخور تتباين تباينا كبيرا فى خصائصها الطبيعية والكيميـائية التى تؤدى إلى اختلاف درجة تأثر كل منها بالعوامل المتشابهة ، سواء فى ذلك العوامل الباطنية وماتسببه من حركات فى القشرة أو العوامل الخارجية التى تشتمل على عوامل التجوية وعوامل التعرية . ولذلك فان تنوع الصخور التى تتكون منها قشرة الأرض قد يكون فى بعض الأحيـان هو المسئول الأول عن اختـلاف المظـاهر الجيومورفولوجية لبعض المنـاطق المتشابهة فى ظروفها الأخرى أو حتى فى المنطقة الواحدة التى تتكون من صخور متباينة . فمن الثابت مثلا أن الحركات

الأرضية التي تعرضت لها القشرة في العصور الجيولوجية المختلفة كانت تؤدى إلى تصدع المناطق المكونة من صخور صلبة من نوع الصخور النارية والمتحولة بينما كانت تؤدى إلى انثناء المناطق المكونة من صخور رسوبية أقل صلابة فنتج عنها في الحالة الأولى تكوين أشكال تضاريسية من نوع الوديان الصدعية والهضاب الصدعية (الهورست) وغيرها بينما نتج عنها في الحالة الثانية تكوين جبال انثنائية متباينة الأشكال والأحجام .

ويلعب التركيب الصخرى كذلك أدوارا مهمة في تحديد آثار عوامل التعرية وعوامل التجوية ، فالمعروف مثلا أنه كلما زادت صلابة الصخر زادت قدرته على مقاومة التعرية ، ولذلك فكثيرا ما تبقى تكوينات الصخور الصلبة بارزة بعد أن تزيل الرياح أو المياه الجارية أو الجليد أو غيرها من العوامل التكوينات اللينة الأخرى من حولها . ولكن درجة صلابة الصخر وحدها ليست هي الصفة الوحيدة التي تحدد قدرته على مقاومة عوامل التعرية وعوامل التجوية ، إذ أن هناك صفات أخرى تتدخل في تحديد هذه القدرة مثل التركيب المعدنى للصخر ووجود بعض مناطق الضعف فيه مثل الشقوق والمفاصل ، والظروف التي يوجد فيها ، فالصخور الجيرية مثلا أقدر على مقاومة التجوية والتعرية في المناخ الجاف منها في المناخ الممطر ، لأنها قابلة للذوبان في مياه الأمطار التي تحمل عند سقوطها بعضا من ثانى أوكسيد الكربون من الهواء ، والعكس صحيح بالنسبة للصخور النارية مثل الجرانيت الذى يكون أقدر على مقاومة التعرية في المناخ الرطب منه في المناخ الجاف ، وذلك لأن هذا الصخر سهل التأثر بالتتابع المستمر لبرودة الليل وحرارة النهار ، ولذلك فإنه يكون أقل مقاومة للتجوية والتعرية في هذا المناخ منه في المناخ الممطر . ويكفى للدلالة على ذلك أن رمال الصحارى قد نتجت من تجوية الصخور النارية على طول مئات الآلاف من السنين ، وأن عوامل التعرية هى التى قامت بعد ذلك بتوزيعها على سطح الأرض وعلى تراكمها فى بعض المناطق بشكل كثبان أو غطاءات رملية .

الباب الثالث

الماء واليابس

الفصل السابع

نشأة المحيطات والقارات وتطور توزيعها

المحيطات والقارات كمرتبة من مراتب التضاريس :

إن كلمة تضاريس Orography أو Relief بمعناها العام تشمل كل ماعلى سطح الأرض من ارتفاعات وانخفاضات أيا كانت أحجامها وأشكالها . وعلى هذا الأساس كان كثيرا من الجغرافيين يدخلون القارات والمحيطات ضمن مظاهر التضاريس ويعتبرون أنها هي أكبر المظاهر التضاريسية ، ومنها تتدرج هذه المظاهر إلى المظاهر الأصغر فالأصغر حتى تصل إلى أصغر الأشكال التي يمكن أن نجدها في مواضع صغيرة على سطح الأرض ، ومن أمثلتها التموجات التي تظهر على سطح الرمال أو التجاويف والنتوءات الصغيرة التي توجد على سطح الصخور . ونظراً لهذا التفاوت الكبير بين كل هذه المظاهر والاشكال من حيث أحجامها والعوامل التي ساهمت في نشأتها وتطورها لم يعد من السهل دراستها كلها في باب واحد ، ولذلك كان الجغرافيون يقسمونها عادة إلى ثلاث مراتب هي :

١) تضاريس المرتبة الأولى ، وتشمل كتل اليابس من ناحية وأحواض المحيطات والبحار الكبرى من ناحية ثانية .

٢) تضاريس المرتبة الثانية وتشمل المظاهر الرئيسية التي توجد ضمن تضاريس المرتبة الأولى وأهمها الجبال والهضاب والسهول والأحواض النهرية والبحيرات والبحار الداخلية . وهذه المظاهر هي التي نقصدها عادة عند الكلام على « التضاريس » ، وتعتبر دراستها من أهم الموضوعات الجغرافية لا لأنها تعتبر من أهم المظاهر الطبيعية لسطح الأرض فحسب ، بل لأنها

تدخل كذلك بطرق مباشرة وغـير مباشرة فى كل النواحى الجغرافية الأخرى . سواء منها ما هو طبيعى مثل المناخ والنبات وتصريف المياه ، أو ما هو بشرى مثل الإنتاج الزراعى والمواصلات وتوزيع السكان وتخطيط الحدود وغير ذلك من مظاهر الحياة البشرية .

٣) تضاريس المرتبة الثالثة ، وتشمل جميع الأشكال الصغيرة التى توجد فى داخل تضاريس المرتبة الثانية بما فى ذلك أصغر الأشكال وأدق التفاصيل التى تسببها العوامل الجوية وحركة الرياح أو المياه الجارية أو الجليد ،وهذه الأشكال هى التى يختص بدراستها وتحليلهـــا علم « الجيومورفولوجيا Geomorphology » الذى ظهر فى أواخر القرن التاسع عشر ثم أخذ يتطور بسرعة حتى أصبح يحتل فى الوقت الحاضر مركزاً مهما بين العلوم الجغرافيـة بصفة عامة وعلوم الجغرافيا الطبيعية بصفة خاصة .

وعلى الرغم من أن ما نقصده عادة عند الكلام على « التضاريس » هو تضاريس اليابس فقط ، فليس معنى ذلك أن قيعان البحـار والمحيطات خالية من مثل هذه التضاريس ، إذا أنهـا تحتوى على كثير من المظاهر التضاريسية الكبيرة والمتباينة ، ومن بينها كثير من الأخاديد العميقـة والجبال المرتفعة . وكل ما هنالك هو أنها تكون غالبـا مغمورة تحت سطح الماء وليست لها علاقات مباشرة بمظاهر الجغرافيا الطبيعية أو البشرية على سطح اليابس وهذا هو ما يبعدها غالبا عن مجال الدراسات الجغرافية فى الوقت الحاضر .

بعض محاولات تفسير نشأة المحيطات والقارات

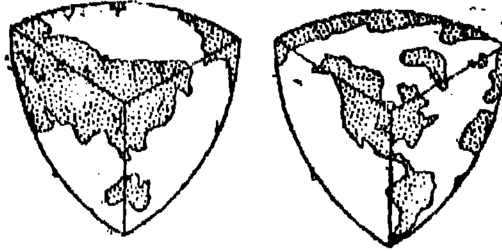
كما أن نشأة الكرة الأرضية ما زالت محلا للجدل فان نشأة القـارات والمحيطات ما زالت هى الاخرى محلا لمثل هذا الجدل ، وأهم النظريات التى وردت بهذا الخصوص هى :

١ — النظرية التتراهيدية Tetrahedral Hypothesis : ومعناها النظرية الهرمية، وصاحبهاهو الباحث البريطانى لوذيان جرين Lothian Green الذى

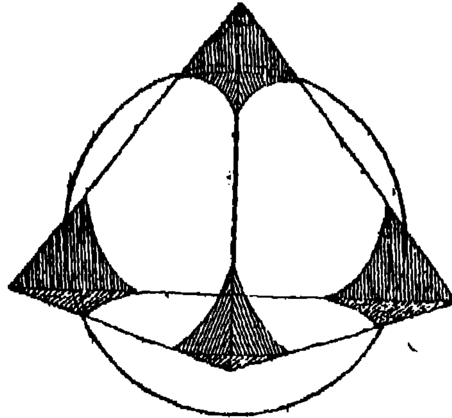
اقترحها سنة ١٨٧٥ وملخصها هو أن سطح الكرة الأرضية يتفق في مظهره العام مع شكل هرم ثلاثي قاعدته في الشمال ورأسه في الجنوب وأن القارات تمثل الحافات والأركان البارزة للهرم ، بينما تمثل المحيطات جوانبه المسطحة .

وقد لقيت هذه النظرية عند ظهورها قبولا لدى كثير من الباحثين لأنهم : ١) وجدوا فيها تفسيرا معقولا للشكل العام الذي تأخذه معظم القارات، وهو شكل المثلثات التي تقع رؤوسها في الجنوب وقواعدها في الشمال ، وهو ما يبدو واضحا بصفة خاصة بالنسبة لقارات إفريقيا وأمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية و٢) لأنها تتمشى مع نظرية من النظريات الهندسية المعروفة، وهي أن النسبة بين مساحة قشرة أي جسم وحجمه تنخفض إلى أصغر رقم لها إذا كان هذا الجسم كرويا،فإذا ما أخذ حجم هذا الجسم في التناقص لأى سبب من الاسباب مع بقاء مساحة قشرته ثابتة فإن شكله يأخذ في التغير وتتزايد تبعا لذلك النسبة بين مساحة قشرته وحجم جسمه. وآخر شكل يمكن أن يتحول إليه هذا الجسم هو شكل الهرم الثلاثي ، لأن من المعروف أن الهرم الثلاثي هو الشكل الهندسي الذي تتمثل فيه أعلى نسبة بين مساحة القشرة والحجم. وعلى هذا الاساس يعتقد صاحب النظرية أن حجم الكرة الارضية ظل يتناقص بسبب البرودة لمدة طويلة بعد أن كانت قشرتها قد بردت وثبتت مساحتها تقريبا ، وكان لابد لهذه القشرة أن تتجعد لتتلاءم مع تناقص الحجم وانتهى الامر بتحولها إلى ما يشبه الهرم الثلاثي . وبعد أن تكونت المياه على سطح الكرة كان من الطبيعي أن تتجمع فوق الأسطح المنخفضة للهرم فتكونت منها المحيطات بينما ظلت الحافات البارزة جافة وتكونت منها القارات التي كانت متسعة في الشمال بسبب امتدادها مع الحافات الثلاث لقاعدة الهرم وضيقة في الجنوب بسبب تناقص حجم الهرم كلما اتجهنا نحو قمته (أنظر الشكلين ١٥ و ١٦).

رأى لابورث C. Lapworth : إن رأي هذا الباحث (البريطاني) يشبه



شكل (٤٥) توزيع اليابس والماء على سطح الكرة الأرضية على حسب النظرية التتراهيدية



شكل (٤٦) العلاقة بين الكرة والهرم إذا وضع أحدهما داخل الآخر

رأى لوذيان جرين صاحب النظرية التتراهيدية من حيث الفكرة المبدئية التي بنى عليها ، وهي أن الأرض كانت في أول أمرها حارة رخوة ثم أخذت تبرد بالتدريج ، وترتب على ذلك تناقص حجمها وتقلص قشرتها . ولكن لا بورث لا يرى مبررا للاعتقاد بأن هذا التقلص أدى الى إعطاء القشرة أى شكل هندسى معين وإنما أدى الى تجعدها بغير نظام خاص ، كما يحدث لثمرة التفاح عندما تجف وتتجعد قشرتها . فبنفس الطريقة تجعدت قشرة الأرض فانخفضت أجزاء من سطحها وشغلتها البحار والمحيطات بينما بقيت أجزاؤه الأخرى مرتفعة فتكونت منها القارات .

ويمكننا أن نفهم رأى لابورث إذا لاحظنا أن أعماق المحيطات وارتفاعات الجبال لا تمثل فى الحقيقة إلا تجاعيداً بسيطة جداً لو نظرنا إليها بمقاييس الكرة الأرضية، فاذا كان الفرق بين أعلى قمة على اليابس وأعمق بقعة فى المحيطات هو ٢٠ كيلو مترا تقريبا فان هذا الفرق يمثل ٢ / ١٢٫٧٠٠ (أو ١ / ٦٣٧٫٥) تقريبا من قطر الكرة الأرضية، فلو أننا مثلنا هذه الكرة بدائرة قطرها ٦٣٧٫٥ سنتيمتر فان الخط الذى يمثل محيطها يجب أن يكون سمكه سنتيمترا واحدا على الأكثر، والمفروض هو أن تكون كل المرتفعات وكل المنخفضات الموجودة على سطح الكرة الأرضية ممثلة بداخله وهكذا فان النسبة بين تجاعيد سطح الأرض وحجمها لا تكاد تختلف فى الواقع عن النسبة بين تجاعيد التفاحة وحجمها.

رأى زولاس Sollas : يختلف رأى هـذا الباحث (الفرنسى) اختلافاً جوهريا عن الرأيين السابقين فعلى الرغم من أنه يتفق معهما فى أن الكرة الأرضية كانت فى أول أمرها رخوة فإنه يرى أن السبب فى تجمد سطحها يرجع إلى تباين الضغط الجوى الذى كان واقعا على أجزائها المختلفة عند بدء تكونها . فقد كانت بعض المناطق واقعة تحت ضغط مرتفع وبعضها الآخر تحت ضغط منخفض ، ونظراً لأنها كانت لا تزال رخوة نوعا ما فقد هبطت المناطق التى وقعت تحت الضغط المرتفع وتكونت منها المحيطات بينما بقيت المناطق التى وقعت تحت الضغط المنخفض مرتفعة وتكونت منها القارات .

والخلاصة أن نشأة القارات والمحيطات ما زالت حتى الآن محلا للمناقشة شأنها فى ذلك شأن نشأة الارض نفسها ، وذلك على الرغم من أن الباحثين اعتمدوا فى محاولاتهم لتفسير نشأة المحيطات والقارات على حقائق ملموسة مثل شكل السواحل وأعماق المحيطات وأنواع الرواسب التى توجد فى هذه الاعماق ومقارنتها بالرواسب القديمة التى توجد على اليابس ، بينما لم تستند النظريات التى تعرضت لتفسير نشأة الأرض إلى حقائق علمية ملموسة من هذا النوع .

عمر المحيطات ومصدر مياهها :

على الرغم من أن العوامل التي أدت إلى تكوين القارات والمحيطات مازالت غير معروفة فان هناك اتفاقا عاما على أن كليهما كان موجودا منذ أقدم العصور الجيولوجية المعروفة ، فقد دلت الابحاث الجيولوجية على أن تكوينات بعض مناطق القارات الحالية تدل بوضوح على أن هذه المناطق كانت دائما أرضا يابسة ولم تغمرها مياه البحار في أي وقت من الأوقات ، وأن تكوينات الاعماق المحيطية التي تزيد على ستة آلاف متر تدل على أن هذه الاعماق كانت دائما مغطاة بمياه البحر وانها لم تتحول إلى أرض يابسة في أي عصر من العصور المعروفة وإن كان هذا لا يمنع من أن مياه البحار كانت تطغى في بعض العصور على أجزاء من القارات أو أن بعض الأجزاء الضحلة نسبيا من المحيطات كانت تتحول أحيانا إلى أرض يابسة .

فاذا ما سلمنا بأن المحيطات كانت موجودة منذ أقدم العصور الجيولوجية فان عمرها يمكن أن يكون هو عمر أقدم صخور القشرة الارضية ، وتدل الدراسات التي أجريت حتى الآن على أن هذا العمر يبلغ حوالي ثلاث آلاف مليون سنة . وقد وجدت بالفعل ضمن هذه الصخور بعض الصخور الرسوبية التي تحتوى على رواسب مائية مثل الحصى ، كما وجدت في بعض الصخور الرسوبية التي تكونت بعد ذلك بحوالي ثلثمائة مليون سنة رواسب مكونة من نباتات أولية من نوع الطحالب Algae التي مازالت توجد في مياه البحار حتى الآن ، كما تبين أن بعض الصخور التي تكونت بعد ذلك ببضع مئات الملايين من السنين تحتوى على كائنات عضوية من نوع البكتريا(١) .

---

(١) M. Grant Gross. - Oceanography 1967, P. 8 (Merril Physical Science Series).

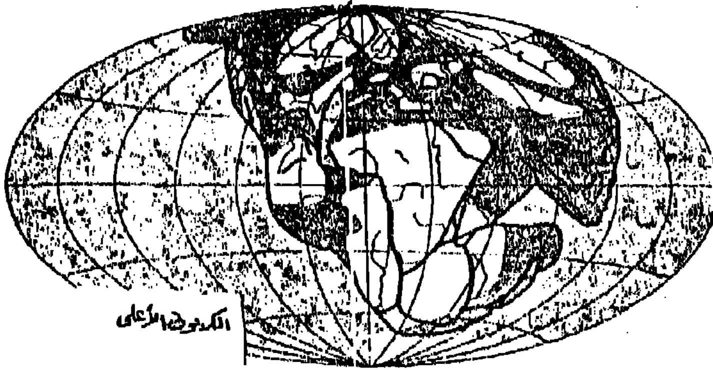
أما عن المصدر الذى جاءت منه مياه البحار فهو المياه التى كانت محجوزة فى صخور باطن الأرض فقد كانت المياه تنطلق بكثرة من هذه الصخور فى المراحل الأولى لبرودة الأرض ، كما كانت كميات كبيرة من المياه تنطلق كذلك عند ثوران البراكين التى كانت أعظم نشاطا بكثير فى كل العصور الجيولوجية والعصور التاريخية منها فى الوقت الحاضر . ويقدر بعض الباحثين أن كمية المياه التى انطلقت من الصخور وخرجت من الثورانات البركانية خلال العمر الطويل للكرة الأرضية تكفى بسهولة لتكوين كل المياه التى امتلأت بها أحواض البحار والمحيطات (١) .

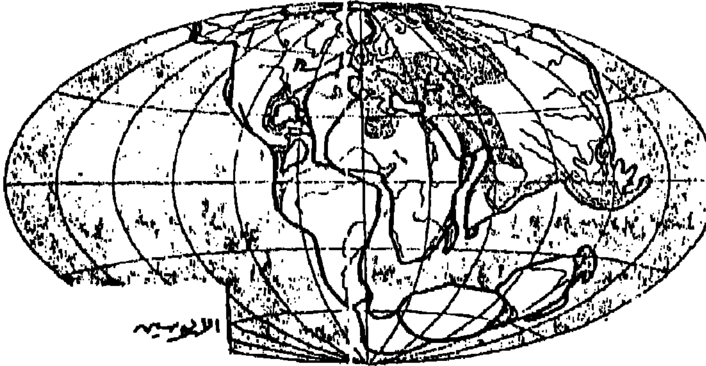
الزحف القارى

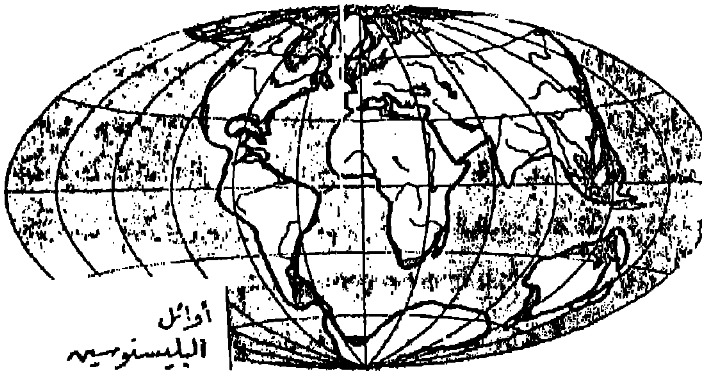
CONTINENTAL DRIFT

على الرغم من أن اليابس والماء كانا ، كما ذكرنا ، موجودين جنبا إلى جنب على سطح الكرة الأرضية منذ أقدم العصور الجيولوجية فان توزيعها كان يتعرض لتغيرات كبيرة خلال بعض العصور نتيجة لعوامل مختلفة من أهمها حركات الزحف التى يعتقد بعض الباحثين أنها حدثت لكتل اليابس ، والتى بلغت أشدها أثناء الزمن الجيولوجى الثانى . وكان الباحث الألمانى ألفرد فيجنر Alfred Wegener هو أول من تكلم (سنة ١٩٢٢) عن احتمال حدوث مثل هذا الزحف واقترح عندئذ نظريته التى اشتهرت باسم « نظرية الزحف القارى » . وعلى الرغم من أن هذه النظرية لم تصادف قبولا عند بعض الباحثين فانها ما زالت حتى الآن محتفظة بمعظم أهميتها ، لأنها تتمشى مع الحقائق المعروفة عن تركيب القشرة الأرضية ، كما أنها تستطيع أن تفسر

(١) نفس المرجع السابق صفحة 8 .







شكل (٤٧) توزيع الماء واليابس فى ثلاثة عصور جيولوجية

بعض أشكال السواحل المتقابلة على جوانب المحيطين الأطلسي والهندي ، وأن تفسر كذلك بعض أوجه التشابه في التركيب الجيولوجي وفي بعض المظاهر الحفرية في بعض المناطق المتقابلة على جانبي هذين المحيطين .

وعلى أساس هذه النظرية يرى فيجنر أن اليابس كله كان متجمعا خلال الزمن الجيولوجي الأول في كتلة واحدة أطلق عليها اسم « بانجي Pangae » وقد كانت تضم قارتين رئيسيتين هما قارة جندوانا Gondwana في الجنوب وقارة لوراسيا Laurasia في الشمال . وكانت توجد بداخل هذه الكتلة بحار داخلية من أهمها بحر تيثيس Tethys الذى كان يمتد عموما بين الشرق والغرب . وكان القسم الأكبر من كتلة بانجي واقعا جنوب خط الاستواء حتى أنه كان يمتد حتى القطب الجنوبي . وفي أواسط الزمن الجيولوجي الثاني أخذت قارتا جندوانا ولوراسيا في التمزق نتيجة لحدوث سلسلة من الانكسارات على أطرافها ، وبدأت أجزاء كبيرة منها في الزحف بعيدا عن الكتلتين الأصليتين على طول هذه الانكسارات . وقد سارت حركات الزحف في ثلاثة اتجاهات رئيسية أحدها نحو الشمال والثاني نحو الشرق والثالث نحو الغرب .

أما الزحف نحو الشمال فقد أدى بالتدريج إلى انعزال معظم اليابس بعيدا عن القطب الجنوبي ، فيما عدا الكتلة التى تكونت منها القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) فقد كانت هذه القارة جزءا من جندوانا لاند ولكنها تخلفت في مكانها بعد أن زحفت جندوانا لاند مع بقية اليابس نحو الشمال . وهنالك أدلة قوية على حدوث هذا الزحف منها :

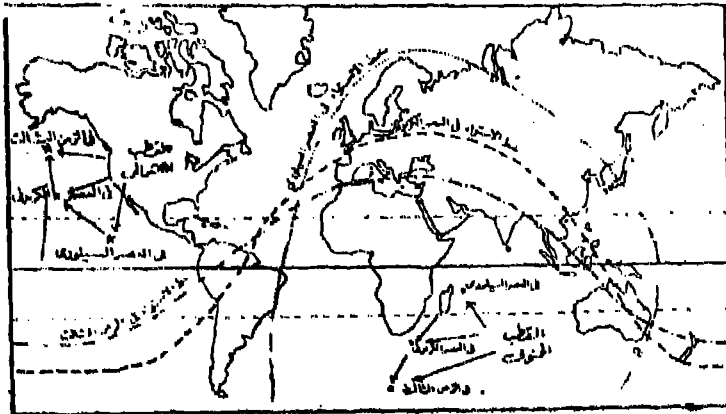
١ — العثور في جنوب أوروبا ووسطها على رواسب قديمة من الأنواع التى لا توجد إلا في الأقاليم الحارة ، ومن أهمها تكوينات من تربة اللاتيريت

Laterite ، وهى التربة الحمراء التى تتميز بها الاقاليم الاستوائية فى الوقت الحاضر .

٢ — العثور فى نفس الأقاليم على هياكل وبقايا كثيرة لحيوانات قديمة من الأنواع التى لا تعيش إلا فى الجو الحار مثل الفيل والحرتيت والنمر والأسد وغيرها .

٣ — العثور على كثير من آثار النحت والإرساب الجليدى التى ترجع إلى أواخر الزمن الجيولوجى الأول فى جنوب إفريقيا واستراليا والهند والبرازيل ، وهى المناطق التى انسلخت من « جندوانا لاند » .

ومن الواضح أن وجود مظاهر المناخ المدارى فى أوروبا ومظاهر المناخ القطبى فى جنوب إفريقية يعتبر دليلا قويا على أن اليابس كان أبعد إلى الجنوب منه فى الوقت الحاضر حتى أن خط الاستواء كان فى ذلك الوقت (أى فى أواخر الزمن الجيولوجى الثانى) ، يمر فى وسط أوروبا تقريبا ، بينما كان جنوب إفريقيا قريبا من المنطقة القطبية الجنوبية .



شكل (٤٨) موقع خط الاستواء والقطبين فى بعض العصور الجيولوجية



شكل (٤٩) إمكانية تطابق السواحل المطلة على المحيط الاطلسي ، ويظهر التطابق واضحا بصفة خاصة على منسوب خط عمق ٥٠٠ متر (المبين بالشرط)، وتبين الشرط السميكة المناطق التي كانت القارات ملتصقة عندها ، على حسب نظرية الزحف القاري .

أما الزحف نحو الشرق فقد أدى إلى انفصال الاجزاء التي كونت معظم استراليا وهضبة الدكن وشبه الجزيرة العربية عن كتلة جندوانا ، بينما أدى الزحف نحو الغرب إلى انفصال الكتلة التي تكونت منها أمريكا الجنوبية ، كما أدى نفس هذا الزحف إلى انفصال الكتلتين ، اللتين كونتا جرينلاند وأمريكا الشمالية عن كتلة لوراسيا، بينما بقي القسم الاكبر من قارتي أوروبا وآسيا. وبنفس الطريقة كان القسم الاكبر من جندوانا لاند قد بقي وتكونت منه إفريقيا .

وتنقسم الادلة التي أوردها فيجنر على حدوث الزحف في هذين الاتجاهين إلى قسمين هما :

١ - أن اتجاهات وتعاريج السواحل المتقابلة على جانبي المحيط الاطلسي وعلى جانبي المحيط الهندي تجعل من الممكن أن تتداخل هذه السواحل بعضها في بعض بصفة عامة إذا قدر لها أن تتزحزح لتتقابل من جديد ، كما يوحي بأنها تمثل الجوانب المتقابلة لتصدعات طولية واحدة . ويبدو هذا واضحاً بصفة خاصة بالنسبة لسواحل شمال شرق أمريكا الجنوبية والسواحل المقابلة لها على خليج غانة بإفريقيا.

٢ - أن هناك بعض التشابه بين التركيبات الجيولوجية والآثار الجيومورفولوجية التي ترجع إلى الزمنين الاول والثاني في المناطق المتقابلة التي تفترض نظرية الزحف القاري أنها كانت أجزاء من جندوانالاند أو من لوراسيا . وفضلا عن ذلك فقد عثر في بعض رواسب الزمن الجيولوجي الاول في جنوب إفريقيا والبرازيل والهند واستراليا على حفريات لأنواع خاصة من القواقع التي لا تستطيع الانتقال عبر مياه البحار . ولذلك فان وجودها في هذه المناطق المتباعدة يعتبر دليلا قويا على أنها كانت متصلة ببعضها.

ومع ذلك فان بعض الباحثين مثل هولمز A. Holmes لم يقتنعوا بهذه الأدلة لعدة أسباب منها :

١ – أن هناك احتمالا كبيرا بألا تكون السواحل الحالية هي نفس السواحل التي كانت موجودة عند بدء حركة الزحف ، لأن تأثرها بعوامل التشكيل الفيزيوغرافي المختلفة خلال مئات الملايين من السنين كان كفيلا بتغيير أشكالها.

٢ – أن هناك كتلا ضخمة من السايال (التي تتكون منها كتل اليابس) المبعثرة فوق قاع المحيط الأطلسي في نطاق طويل من الشمال إلى الجنوب ، فلو فرض وسلمنا بصحة نظرية الزحف القاري فمن الممكن أن تكون هذه الكتل مجرد أجزاء متخلفة من الكتل اليابسة التي واصلت زحفها نحو الغرب[1]، فلو فرضنا أن الأمريكتين وجرينلاند قد زحفت مرة أخرى نحو أوروبا وإفريقيا

---

(١) يحتمل أن تكون هذه الكتل الغاطسة هي بالفعل بقايا أرض يابسة قديمة اختفت منذ زمن بعيد تحت سطح الماء بسبب الحركات الأرضية ، وأن تكون هذه الأرض هي القارة القديمة التي أطلق عليهـــا بعض علماء الجغرافيا القديمة اسم « قارة أطلانطيس Atlantis » وقـد ثبت من دراسة بعض مظاهر التصريف النهري القديم في ولاية نيو انجلاند بشرق الولايات المتحدة أن هذه المنطقة كانت تصل إليها في عهود قديمة أنهار ضخمة جدا من ناحية الشرق ، أي من ناحية المحيط الأطلسي ، وأن معظم رواسب هذه الولاية قد جاءت من هذا الاتجاه مما يدل على أنه كانت توجد في هذا المحيط أرض يابسة. وقد أطلق بعض الجيولوجيين الأمريكان على هذه الأرض اسم قارة أبلاشيا . وقد اختفت هذه القارة تحت سطح الماء نتيجة لعمليات النحت المستمرة التي نقلت كثيرا من تكويناتها نحو الغرب بالإضافة إلى بعض الحركات التكتونية التي أدت إلى هبوطها وأدت في نفس الوقت إلى ارتفاع إقليم نيو انجلاند فترتب على ذلك انقلاب في نظام التصريف النهري وأصبحت الأنهار تنصرف نحو الشرق بدلا من انصرافها نحو الغرب ، وهنـــاك بعض الاحتمال بأن تكون قارة « أبلاشيـا » هي نفسها قارة « اطلانطيس » وقد وجـدت مثلها في اسكتلنده ، أي على الجانب الشرقي للمحيط الأطلسي ، رواسب فيضية وآثار تصريف نهري قديم كانت أنهاره تأتي من ناحية الغرب ، أي من ناحية المحيط الأطلسي ، ويعتبر هذا دليلا آخر يؤيد فكرة وجود أرض يابسة قديمة في هذا المحيط .

لمن المرجح أن هذا الزحف سيؤدي إلى انضغاط الكتل القاطسة وإلى ظهورها بشكل نطاق من اليابس الذى يفصل السواحل المتقابلة الحالية عن بعضها وبناء على هذا فلن يكون هناك محل للأخذ بفكرة التداخل التى سبقت الاشارة اليها

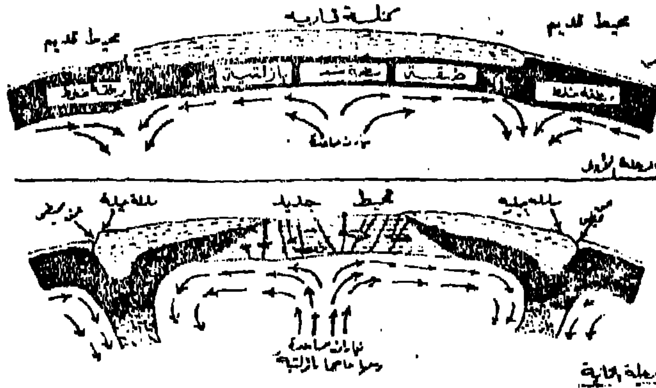
٣ ـ على الرغم من وجود بعض التشابه فى التركيب الجيولوجى والمظاهر الجيومورفولوجية وفى بعض البقايا الحفرية بين بعض المناطق المتقابلة على جانبى المحيط الأطلسى ، فقد تبين أنه هناك اختلافا فى مظاهر الحركات التكتونية التى أوجدت المرتفعات القديمة على الجانبين ، وأهمها الحركات التى أوجدت المرتفعات القديمة فى بريطانيا وشمال غرب أوروبا والحركات التى أوجدت المرتفعات القديمة المقابلة لها فى شرق أمريكا الشمالية حيث تبين أن هذه الحركات لم تكن متوافقة تماما مع بعضها .

أسباب الزحف القارى ونظرية التيارات الصاعدة :

بالإضافة إلى أن الأدلة التى أوردها فيجنر وأنصاره لتدعيم نظرية الزحف القارى حاول بعض الباحثين أن يجدوا تفسيرا معقولا للجانب الميكانيكى لعملية الزحف نفسها . وترتبط بهذا الجانب مشكلتان رئيسيتان هما . أولا ـ مشكلة تحديد وضع القارات كجزء من القشرة الأرضية نفسها ، وثانيا ـ مشكلة تحديد القوة التى يمكنها أن تحرك هذه القارات .

ففيما يختص بوضع القارات على سطح الكرة الأرضية نعود إلى ما سبق أن ذكرناه عن تركيب قشرتها ، فقد ذكرنا أنها مكونة من طبقتين هما السيما وهى الطبقة السفلى وكثافتها من ٣ إلى ٣ر٥ ، والسايال وهى الطبقة العليا وكثافتها من ٢ر٥ إلى ٣ . وتتكون القارات والجزر الكبرى من السايال . وهى تسبح فوق السيما كما تسبح جبال الجليد فى الماء ولكن نظرا لأن السيما شديدة

الصلابة جدا فان كل ما يحدث فيهـا هو نوع من المرونة البسيطة التي تسمح لكتل السايال بالتعمق فيها والتحرك فوقها ولكن ببطء شديد جدا .



شكل (٥٠) نظرية التيارات الصاعدة

أما عن القوة التي أدت إلى حدوث هذا الزحف فيربطها هولمز(١) بحركات التيارات الحرارية التي كانت تصعد من باطن الأرض نحو سطحها في مراحل برودتها الأولى ، فعندما كانت التيارات تصل إلى السطح كان جزء منها ينطلق إلى الجو بينما كان أغلبها يتوزع على الجوانب مسببا قوة شد عنيفة عند مركز التوزيع . وكانت هذه القوة هي المسئولة عن تصدع السايال وانقسامها إلى كتل منفصلة وقد أخذت كل كتلة منها تتحرك في الاتجاه الذي تفرضه التيارات الموزعة ، وكانت حركتها تستمر ما دامت لم تصادفها أي عقبة توقفها . أما إذا اعترضتها منطقة ثابتة صلبة مثل قاع أحد المحيطات القديمة أو إحدى الكتل الصلبة الثابتة فانها كانت تتوقف عن الحركة ، وعندئذ كان الضغط الشديد الناتج عن وجود العقبة الثابتة في طريقها يؤدي في غالب الأحيان إلى انثنائها وارتفاعها بشكل نطاق جبلي يمتد على طول منطقة التقائها بالعقبة ، وقد تنثني في نفس الوقت إلى أسفل لتحتل مكانا أعمق

(١) A. Holmes, "Principles of Physical Geology" Thomas Nelson Ch. 28. London, 1694.

فى تكوينات السيما ، تتكون فى منطقة التقاء النطاق الجبلى بقاعدة المحيط القديم منطقة بحرية أعمق من باقى أجزائه .

ومن هذا يتضح أن نظرية التيارات الصاعدة تحاول أن تفسر عدة ظاهرات فى وقت واحد وهى كيفية وصول بعض القارات، مثل الامريكتين واستراليا، إلى أماكنها الحالية ، وكيفية تكون سلاسل الجبال الالتوائية الكبرى على طول التقائها بقاعدة المحيط الهادى وهى سلاسل جبال روكى وجبال الإنديز. كما تحاول فى نفس الوقت تفسير الطريقة التى نشأ بها المحيطان الأطلسى والهندى ، وهما محيطان حديثان نسبيا إذا ما قورنا بالمحيط الهادى .

توزيع الكتل القارية القديمة وعلاقتها بالقارات الحالية

ذكرنا أن اليابس القديم كان حتى قرب نهاية الزمن الجيولوجى الثانى متجمعا فى كتلة واحدة هى كتلة بانجى التى كانت تقسمها رغم ذلك بحار داخلية أهمها بحر تيثيس ، وأن حركات التصدع والزحزحة التى حدثت فى ذلك الزمن قد أدت إلى انفصال بعض الكتل الصغيرة نسبيا عن الكتل الكبرى وانتقالها إلى أماكن متباعدة ، وقد توقف زحف كل كتلة من هذه الكتل فى مكان معين نتيجة لتصادمها مع قاعدة محيطية ثابتة شديدة الصلابة مثل قاعدة المحيط الهادى . وكان التوزيع الذى حدث لهذه الكتل فى ذلك الزمن هو الاساس الذى توزعت بمقتضاه كتل القارات الحالية، حيث أن كل كتلة من هذه الكتل أصبحت نواة تجمعت حولها الرواسب البحرية وتكونت منها بمرور الزمن طبقات عظيمة السمك ، كما تراكمت فوقها كثير من الرواسب القارية والطفوح البركانية ، ثم أخذت عوامل التعرية وعوامل التعرية المختلفة تفتت تكويناتها وتعيد توزيعها بأشكال متباينة ، كما أدت الحركات الأرضية المختلفة إلى انثناء طبقاتها الصخرية

وخصوصا طبقات الصخور الجيرية السميكة التي تراكمت على أطرافها وفي البحار المجاورة لها فتكونت منها نطاقات عظيمة من الجبال الالتوائية وهكذا ازدادت هذه الكتل نموا واتساعا واتصلت الكتل المتجاورة بعضها ببعض وتكونت نتيجة لكل هذه التطورات كتل القارات الحالية .

وكانت الكتل القارية الأصلية التي انفصلت من جندوانا لاند ولوراسيا مكونة من صخور بلورية قديمة شديدة الصلابة معظمها صخور نارية ومتحولة ترجع إلى الزمن الأركي (ماقبل الكمبري) وبعضها مكون من صخور رسوبية شديدة الصلابة تنتمي إلى الزمن الأول . ونظرا لشدة صلابتها وقوة مقاومتها للضغط فقد أطلق عليها الجيولوجيون اسم الدروع Shields ، أو الكتل الصلبة ، وأمكنهم تحديد مناطقها في القارات الحالية على الرغم من أن معظمها يختفي حاليا تحت تكوينات سميكة من صخور متباينة ترجع إلى عصور جيولوجية مختلفة وأنها محاطة بطبقات سميكة من الصخور الجيرية التي انثنت في عصور لاحقة وتكونت منها سلاسل الجبال الالتوائية التي تمتد في نطاقات عظيمة حول هذه المناطق

وأهم الدروع (أو الأرصفة) التي بنيت حولها القارات الحالية هي :
أولا – في أوراسيا :

١ – الرصيف (أو الدرع) السيبيرى ، ويشغل معظم سيبيريا ويحده من الغرب جبال أورال ومن الشرق جبال فرخويانسك ومن الجنوب نطاقات الجبال الالتوائية الواقعة جنوب بحيرة بيكال .

٢ – الرصيف الروسي ، وهو يشغل قسما كبيرا من روسيا بين جبال أورال في الشرق وحوض البحر البلطي في الغرب وجبال القوقاز والكربات في الجنوب حتى المحيط المتجمد الشمالي في الشمال .

٣ - الدرع البلطى (أو الدرع الفنلندى الاسكندنافى) ، وهو يشمل معظم فنلندة والسويد حيث يختفى تحت طبقات سميكة من الصخور الرسوبية ، ويمتد جزء منه فى غرب روسيا حيث تبدو صخوره فى معظم الأماكن ظاهرة على السطح .

٤ - الرصيف الصينى ، ويشغل مناطق واسعة فى شمال الصين ووسطها وشرقها ، وتختفى صخوره فى أغلب الأماكن تحت تكوينات رسوبية سميكة ، ويمتد هذا الرصيف جنوبا ليشغل كذلك منطقة كبيرة من الهند الصينية .

٥ - هضبة الدكن ، وقد كانت جزءا من قارة جندوانا القديمة ، وهى كتلة محددة تحديدا واضحا بواسطة البحار المجاورة ، وتفصلها سهول الكنج والسند عن جبال هيمالايا الحديثة فى الشمال .

٦ - الدرع العربى ، ويشغل نطاقا عظيما فى شرق شبه الجزيرة العربية وشمالها ووسطها ، وقد كان هو الآخر جزءا من قارة جندوانا القديمة .

ثانيا - فى افريقيا :

باستثناء جبال أطلس الالتوائية الحديثة فى شمال غرب إفريقية ، فإن هذه القارة فى جملتها عبارة عن كتلة صلبة قديمة ، يتكون أساسها من صخور بلورية أركية تكسوها فى الغالب تكوينات صخرية حديثة نسبيا . ولكنها تظهر على السطح فى بعض المناطق خصوصا فى نطاق الهضاب الوسطى للقارة .

والمعروف أن هذه القارة تمثل القسم الرئيسى من قارة جندوانا . وهى تمثل (باستثناء جبال أطلس) هضبة ضخمة واحدة يطلق عليها بعض الجيولوجيين تعبير الهضبة الإفريقية The African Tableland . وقد تعرضت هذه الكتل خلال العصور الجيولوجية المختلفة للتحدب فى بعض أجزائها خصوصا فى

الوسط حيث برزت القاعدة الصخرية القديمة بشكل هضاب من أهمها الهضاب المحيطة بحوض الكنغو ، كما تعرضت خلال الزمن الجيولوجي الثالث لبعض حركات التصدع فنشأت بعد ذلك بعض الأخاديد الصدعية الكبيرة مثل الأخدود (أو الوادى) الصدعى العظيم Great Rift Valley الذى يمتد من الجنوب إلى الشمال فى شرق إفريقية ، ويواصل امتداده على طول البحر الأحمر وخليج العقبة ونهر الأردن حتى جنوب سوريا

ثالثاً — فى الأمريكتين وجرينلاند :

١ — الدرع الكندى (أو اللورنسى) ، وهو يشمل معظم كندا والجزر الواقعة إلى الشمال منها ، كما يمتد فى معظم شمال الولايات المتحدة وشرقها ووسطها حيث يمتد تحت التكوينات الرسوبية السميكة للسهول الوسطى وينتهى من ناحية الغرب عند بداية سلاسل جبال روكى، وقد كان هذا الدرع هو النواة الرئيسية التى بنيت حولها أمريكا الشمالية .

وتعتبر جرينلاند كتلة صلبة قديمة كذلك . ويمكن اعتبارها امتدادا للدرع الكندى .

٢ — كتلة البرازيل وجيانا . وهى أحد أجزاء قارة جندوانا القديمة ، وتواصل التكوينات القديمة لهذه الهضبة امتدادها تحت الصخور الرسوبية السميكة فى حوض الأمزون حتى قاعدة جبال الإنديز فى الغرب ، وهى تعتبر النواة الأصلية التى بنيت حولها أمريكا الجنوبية .

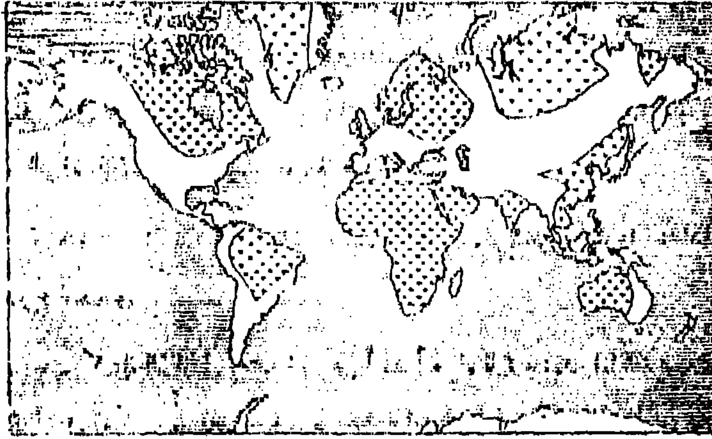
رابعاً — كتلة استراليا :

وهى إحدى الأجزاء التى انفصلت عن قارة جندوانا ، وتشغل فى الوقت الحاضر معظم الهضبة الغربية والسهول الوسطى للقارة ، ولكنها تغطت ،

وخصوصا فى السهول الوسطى ، بطبقات رسوبية سميكة تنتمى إلى عصور جيولوجية أحدث ، أما صخورها الأصلية فهى صخور نارية ومتحولة قديمة تنتمى إلى زمن ما قبل الكمبرى .

خامسا – الكتلة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا) :

وهى الجزء الذى تخلف من قارة جندوانا وبقى عند القطب الجنوبى بعد أن زحفت بقية القارة نحو الشمال مع حركة الزحف العامة . وتختفى هذه الكتلة فى الوقت الحاضر تحت طبقات جليدية عظيمة السمك .



شكل (٥١) الكتل الصلبة القديمة

الفصل الثامن

البحار والمحيطات الحاليه

(نظرة عامة)

مفهوم البحر والمحيط :

إن لفظ « البحار Seas » يستخدم عادة بمعناه العام ليشمل كل البحار والمحيطات التي تغطي سطح الكرة الأرضية . ومع ذلك فإن الجغرافيين يستخدمون كلمة « بحر » في معظم الدراسات الإقليمية للدلالة على مناطق بحرية خاصة لها صلة مباشرة باليابس. وعلى الرغم من أن أغلب البحار ليست إلا أجزاء من المحيطات أو فروعا منها فإنها تتميز ببعض الصفات التي تجعل لها شخصيات متميزة عن المحيطات الملاصقة لها . وأهم هذه الصفات هي (١) أن تكون غالبا محددة بواسطة اليابس من أكثر من جهة واحدة أو تكون مقسمة بواسطة أرخبيل من الجزر (٢) أنها قليلة العمق نسبيا حتى أن أغلبها لا يزيد عمقه عن ١٠٠٠ متر بل أن بعضها لا يزيد عمقه عن ٢٠٠ متر ، مثل البحر البلطي وبحر الشمال وغيرهما من البحار التي تقع بأكملها فوق الرف القاري وهو المنطقة الضحلة المجاورة لليابس (وسنعرض الكلام عليه بعد قليل) (٣) أن مياهها قد تختلف من بعض الوجوه مثل درجة الحرارة ودرجة الملوحة من مياه المحيط على حسب درجة تأثرها باليابس المحيط بها ، وسرعة التبخر من مياهها وكثرة ما ينصب فيها من مياه الأمطار التي تسقط فوقها مباشرة أو التي تنصرف إليها بواسطة الأنهار التي تصب فيها ، فالبحر الأحمر مثلا مياهه أشد ملوحة نسبيا من المحيطات لأنه بحر شبه مغلق ولأنه يقع وسط إقليم صحراوي حار ولا تصب فيه مياه عذبة تستحق الذكر سواء بواسطة الأنهار أو الأمطار المباشرة ، أما البحر البلطي فهو من ناحية أخرى أقل ملوحة نسبيا

بسبب وقوعه في اقليم بارد ، وكثرة الأمطار التي تسقط عليه والانهار التي تصب فيه .

وتتباين البحار (بمعناها الضيق) فيما بينها تباينا كبيرا في مساحاتها وأشكالها ومواقعها وأعماقها ومقدار ارتباطها باليابس المجاور لها ، ودرجة ملوحة مياهها وحركات هذه المياه بل وفي نشأتها الأولى ، ولكل ذلك فإنه ليس من السهل أن يوضع لها تقسيم شامل تراعى فيه كل هذه النواحي . وكل ما يمكننا عمله هو أن نحدد الناحية التي نريد دراستها ونستخدمها أساسا للتقسيم . وعلى ذلك فإن بعض الجغرافيين يقسمونها مثلا على أساس صلتها باليابس أو بالمحيط إلى ثلاثة أنواع هي :

١ ـ البحار الهامشية Marginal Seas : وهي البحار التي توجد على أطراف المحيطات وتكون متصلة بها اتصالا واضحا عن طريق فتحات واسعة ، ومن أمثلتها بحر الصين الشرقي وبحر اليابان وبحر أندامان وبحر الشمال والبحر الأيرلندي والبحر الكاريبي وبحر بيرنج والبحر المتجمد الشمالي . ولا تختلف المياه في هذه البحار اختلافا كبيرا عن مياه المحيطات الأصلية .

٢ ـ البحار المتوسطة Mediterranean Seas ، وهي البحار التي تتوغل في قلب اليابس ولا تتصل بالمحيطات (أو بالبحار الأكبر منها) الا بمضايق صغيرة ، ولذلك فإنها تتأثر تأثرا واضحا باليابس المحيط بها ، سواء من حيث طبيعة مياهها وحركاتها أو من حيث الظروف المناخية السائدة فيها ، وقد يؤدى هذا التأثر إلى وجود كثير من الاختلافات بين بعضها وبعض ، أو بينها وبين المحيطات المتصلة بها . وتتوقف هذه الاختلافات على ظروف اليابس المحيط بها من ناحية وعلى مقدار صلتها بالمحيطات من ناحية أخرى . ولذلك فان كلا منها له ظروفه الخاصة به من حيث ملوحة مياهه ودرجة حرارتها وحركاتها ، وأحواله المناخية ، بل ونوع الحياة الحيوانية التي تسود فيه . وأهم هذه البحار هي البحر الأبيض

المتوسط والبحر الأسود والبحر الأحمر والبحر البلطي والبحر الأبيض الروسي وبعض الخلجان الكبيرة مثل الخليج العربي وخليج المكسيك وخليج هدسن .

٣ — البحار الداخلية Inland Seas : وهي البحار التي توجد بأكملها في قلب اليابس ولا تربطها بالمحيطات أو البحار الهامشية أو البحار المتوسطة أية صلة ظاهرة ، وقد تكون بعضها في أحواض أرضية كبيرة ملأتها المياه التي تنصرف إليها من اليابس المحيط بها ، سواء في ذلك المياه الجارية التي تنحدر على السطح أو التي تتسرب في طبقات القشرة الأرضية ، وقد اكتسبت ملوحتها من الأملاح التي تذيبها المياه التي تنحدر إليها من طبقات القشرة ، وقد تزايدت نسبة الملوحة بها بالتدريج بسبب التبخر المستمر من سطحها وعدم انصراف مياهها إلى الخارج . وبعض هذه البحار متخلف من بحار جيولوجية قديمة انفصلت بمرور الزمن بفعل الحركات الأرضية والإرساب وحلت محلها في بعض المناطق سلاسل كبيرة من الجبال الالتوائية . والبحار الداخلية قليلة العدد ، وتوجد كلها تقريبا في آسيا حيث تشمل بحر قزوين وبحر آرال والبحر الميت . ويفضل كثير من الكتاب في الوقت الحاضر أن يدخلوا هذه البحار ضمن البحيرات .

سيادة البحار والمحيطات على سطح الأرض :

يصف بعض الباحثين الكرة الأرضية بأنها هي « كوكب المياه » ، وذلك لضخامة الغلاف المائي (الهيدروسفير Hydrosphere) الذي يكسوها ، ويتكون هذا الغلاف بصفة أساسية من مياه البحار والمحيطات ، فهي تكون وحدها حوالي ٨٦٫٥ ٪ من حجمه . وتليها المياه الأرضية التي تتجمع في طبقات الصخور ، وهي تساهم بنحو ١٢٫٢ ٪ من حجمه . أما الباقي وقدره ١٫٣ ٪ فيتكون أغلبه من المياه المتجمدة التي تكسو المناطق القطبية وبعض قمم الجبال المرتفعة في العروض المختلفة ، بينما لا تمثل مياه الأنهار والبحيرات والمياه العالقة

بالجو (بشكل بخار أو سحب فى أى وقت من الأوقات إلا نسبا ضئيلة جدا من هذا الغلاف كما يتضح من الجدول الآتى :

جدول (٣) تركيب الغلاف المائى (١)

مياه البحار والمحيطات	٨٦٫٥ ٪	مياه الأنهار والبحيرات	٠٫٠٣ ٪
المياه الأرضية	١٢٫٢ ٪	مياه الغلاف الجوى	٠٫٠٠١ ٪
الغطاءات الجليدية	١٫٣ ٪		

وتشغل البحار والمحيطات حوالى ٣٦١ مليون كيلو متر مربع وهو ما يعادل ٧٠٫٨ ٪ من المساحة الكلية لسطح الكرة الأرضية (وهو ٥١٠ مليون كيلو متر مربع) بينما يشغل اليابس حوالى ١٤٩ مليون كيلو متر مربع وهو مايعادل ٢٩٫٢ ٪ من مساحة الكرة ، وترتفع نسبة الماء فى نصف الكرة الجنوبى عنها فى النصف الشمالى ، فى النصف الجنوبى تشغل البحار ٧٥ ٪ من مساحتها ، بينما تشغل ٦١ ٪ فقط من مساحة النصف الشمالى وتنخفض هذه النسبة بصفة خاصة بين خطى عرض ٤٥° و ٧٠° شمالا حيث تصل إلى ٣٣ ٪ ، وهذا هو النطاق العرضى الوحيد الذى تزيد فيه مساحة اليابس على مساحة الماء . أما أكبر اتساع للبحار على حساب اليابس فيوجد فى النطاق المحصور بين خطى عرض ٤٠° و ٦٥° فى نصف الكرة الجنوبى ، ففيه تحتل البحار ٨١ ٪ من مساحته الكلية .

وبغض النظر عن توزيع البحار بالنسبة لخطوط العرض فان بعض الجغرافيين قد وجدوا أنه من الممكن تقسيم سطح الكرة الأرضية إلى نصفين أحدهما يضم معظم المياه ويطلق عليها اسم « النصف المائى » ، ويوجد مركزه عند جزر أنتيبودز Antipodes إلى الجنوب الشرقى من نيوزيلندة ، وفيه يوجد ٩٠٫٥ ٪ من مجموع مساحة الماء ، والثانى يضم معظم اليابس ويسمى

(١) Poldervaart, "Chemistry of the Earth's Crust" Geological Soc. of America, Paper 62, 1955, P. 121.

« بالنصف القارى » ويوجد مركزه حول مصب نهر اللوار فى غرب فرنسا وفيه يوجد ٨٣ ٪ من مجموع مساحة اليابس .

حدود المحيطات والملامح العامة لكل منها :

لم تكن المحيطات معزولة عن بعضها فصلا تاما فى أى عصر من العصور . بل إنها كانت دائما متصلة ببعضها فى نطاقات كبيرة . وقد نتج عن ذلك أن أصبح المنسوب العام لسطح مياهها واحدا فى كل مكان ، وهذا هو السبب فى اختيار هذا المنسوب ليكون منسوب الصفر الذى يبدأ منه حساب كل المرتفعات وكل المنخفضات ، كما أصبح تركيب مياهها واحدا فى كل المناطق إلا فى بحار قليلة قد تكون لها ظروف خاصة

ومع أن كل محيط من المحيطات الثلاثة محدد تحديدا واضحا من معظم الجهات بواسطة ارض يابسة فإن مياهه تختلط من ناحية أو أكثر بمياه المحيط أو المحيطين المجاورين له على امتداد نطاقات طويلة ويبدو ذلك واضحا بصفة خاصة فى النطاق المحصور بين خطى عرض ٤٠° و ٦٥° فى نصف الكرة الجنوبى . وفى هذا النطاق تستخدم خطوط الطول كحدود تقريبية بين المحيطات. وعلى هذا الأساس فإن خط طول ١٥٠° شرقا يمكن أن يعتبر حدا تقريبيا بين المحيطين الهندى والهادى وأن يعتبر خط طول ٣٨° شرقا حدا بين المحيطين الهندى والأطلسى وخط طول ٦٧° غربا حدا بين المحيطين الأطلسى والهادى .

والمحيط الهادى هو أكبر المحيطات مساحة وأشدها عمقا على الاطلاق ، فهو يشغل حوالى ٥١ ٪ من المساحة الكلية للمحيطات ، ويبلغ متوسط عمقه حوالى ٣٩٤٠ مترا ، وهو أكبر من متوسط عمق المحيط الهندى بنحو ١٠٠ متر ، ومن متوسط عمق المحيط الأطلسى بنحو ٦٣٠ مترا . والسبب فى أن متوسط عمق المحيط الأطلسى أقل من متوسط عمق المحيطين الآخرين هو أن البحار الهامشية الضحلة التى تتصل به أكثر نسبياً منها فيهما، ومن أهمها خليج المكسيك والبحر الكاريبى وبحر الشمال والبحر البلطى ، فلو أننا أخرجنا منه هذه البحار

لما نقص عمقه كثيرا عن عمق المحيط الهادى . ويحتوى المحيط الهادى كذلك على أشد قيعان المحيطات عمقا ، وتوجد هذه القيعان فى الأخاديد البحرية الواقعة إلى الشرق من جزر الفلبين ، وفيها قد يزيد العمق عن ١١ كيلومترا . ويعتبر وجود الأخاديد العميقة بجوار أقواس من الجزر البركانية من الصفات التى يختص بها هذا المحيط . ويرجع ذلك إلى أن شرق آسيا والجزر المجاورة له قد تعرضت فى عصور جيولوجية حديثة لحركات الالتوائية التى أدت إلى ظهور سلاسل جبلية مرتفعة تجاورها منخفضات مقعرة شديدة العمق . ومازالت هذه المناطق تكون فى الوقت الحاضر جزءا من النطاق الضعيف الذى يحاصر المحيط الهادى من الشمال والشرق والغرب ، وهو النطاق الذى يشتهر باسم الحلقة النارية .

والمحيط الأطلسى هو أطول المحيطات بين الشمال والجنوب ، وذلك لأنه مفتوح من هاتين الناحيتين بحيث يمكن اعتبار البحر المتجمد الشمالى امتدادا له ، وهو على هذا الأساس يمتد من القطب الشمالى حتى خط عرض ٧٠° جنوبا أى لمسافة ١٦٠ درجة عرضية . ويتميز هذا المحيط كذلك بكثرة مياه الأنهار التى تصب فيه من كل القارات المحيطة به .

أما المحيط الهندى فيتميز بأن القسم الأكبر منه موجود فى نصف الكرة الجنوبى وأنه هو أكثر المحيطات تأثرا باليابس بسبب وجوده بين ثلاث قارات ، فهو مقفل تقريبا من ناحية الشمال بواسطة كتلة آسيا الضخمة ، كما أنه مقفل تماما من ناحية الغرب حتى خط عرض ٣٥° جنوبا بواسطة كتلة إفريقيا ، أما من ناحية الشرق فإنه مقفل كذلك ، ولكن بدرجة أقل وضوحا منها فى الشمال والغرب ، بواسطة قارة استراليا والجزر التى تقع بينها وبين آسيا حتى خط عرض ٥٤° جنوبا . وإن التأثير القوى لليابس على هذا المحيط هو السبب فى أن نظام التيارات البحرية ونظام الرياح ينقلبان فى نصفه الشمالى انقلابا تاما بين الصيف والشتاء .

جدول (٣)

مساحات المحيطات ومتوسطات أعماقها (مع بحارها)

المحيط	المساحة بالكيلومترات المربعة	متوسط العمق بالأمتار
المحيط الهادي	١٨٠ مليون	٣٩٤٠
المحيط الأطلسي	١٠٦ «	٣٣١٠
المحيط الهندي	٧٥ «	٣٨٤٠
مجموع مساحة المحيطات	٣٦١ «	
« مساحة اليابس	١٤٩ «	
المجموع	٥١٠ «	(المساحة الكلية لسطح الكرة الأرضية)

تضاريس قاع المحيطات

إن قاع المحيطات ليس مستويا كما يخيل إلينا ، بل إنه يتضمن كثيرا من المظاهر التضاريسية التي لا تختلف من الظاهر المألوفة لنا على اليابس إلا في بعض أشكالها الخارجية وأنواع التكوينات الرسوبية التي تغطيها ، وذلك بسبب اختلاف العوامل التي تؤثر فيها . فبينما تخضع مظاهر التضاريس القارية باستمرار لتأثير العوامل المختلفة للهدم والبناء وهي العوامل التي تشتهر باسم عوامل التعرية ، بل وعوامل الهدم والبناء التي يقوم بها الانسان نفسه فإن تضاريس قاع المحيطات لا تتأثر إلا بحركات المياه وملوحتها ونوع الكائنات الحية والرواسب التي توجد فيها . وأهم المظاهر التضاريسية التي يمكن تمييزها على قاع البحار والمحيطات هي :

١ ـ الرفوف القارية Continental Shelves .

٢ ـ المنحدرات القارية Continental Slopes .

٣ ـ سلاسل الجبال المحيطية Oceanic Ridges .

٤ ـ المخروطات البركانية الغاطسة واسمها العلمي Guyots (وانطقها gee-ohs).

٥ ـ الأخاديد Trenches والأعماق Deeps أو Troughs .

٦ ـ السهول العميقة Abyssal plains .

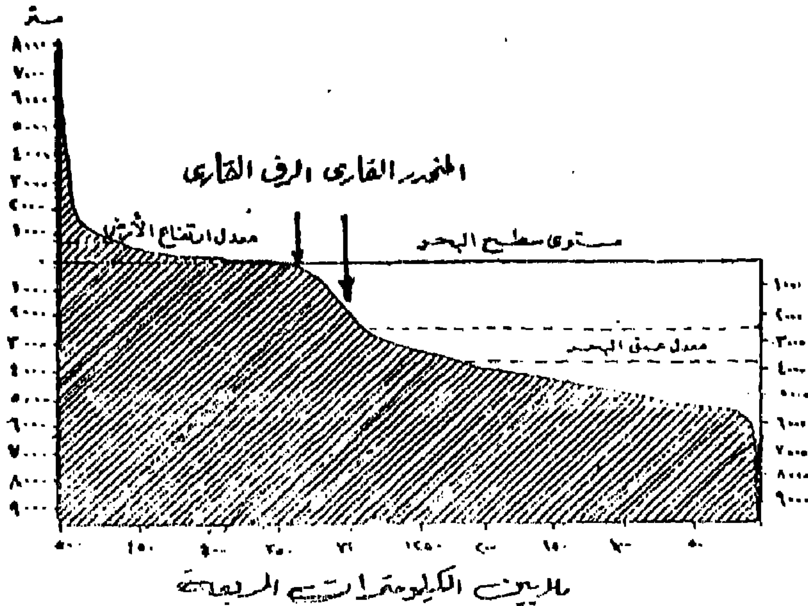
١ ـ الرفوف القارية Continental Shelves : (شكل ٥٢) هي مناطق الانتقال بين الرصيف القارى Continental Platform والرصيف البحرى Marine Platform [1] ، وهي تشمل كل المناطق الضحلة المجاورة لليابس مباشرة والتي لا يزيد عمقها على ٢٠٠ متر (١١٠) قامة [2] وهي تعتبر في الواقع امتدادا لليابس لأنها أكثر ارتباطا به من حيث التركيب الجيولوجي منها بقاع المحيط ، ولأنها لم تكن دائما مغمورة بمياه البحر بل كانت تتحول في كثير من العصور إلى أرض يابسة إما بسبب انخفاض سطح البحار أو ارتفاع سطح اليابس أو بسببها معا. وفضلا عن ذلك فان الانتقال بينها وبين اليابس يحدث بشكل تدريجي بينما يحدث الانتقال بينها وبين قاع المحيط بشكل سريع حتى أنه يكاد يكون فجائيا في كثير من المناطق ، ويطلق على المنحدر الذي يفصل بينها اسم « المنحدر القارى Continental Slope » .

وتقدر المساحة الكلية للرفوف القارية في العالم بحوالي ٢٩ مليون كيلو متر مربع ، وهي تمتد حول كل اليابس تقريبا ، ولكن اتساعها يختلف اختلافا كبيرا من مكان إلى آخر ، فهي في بعض المناطق تمتد إلى مئات الكيلومترات

---

(١) المقصود بالرصيف القارى هو كل اليابس والمقصود بالرصيف البحرى هو كل البحار التي يزيد عمقها على ٢٠٠ متر . ومع ذلك فان بعض الكتاب يستخدمون تعبير « الرصيف القارى » بنفس المعنى الذي يستخدم له تعبير « الرف القارى » . وهو استخدام لن نأخذ به هنا .

(٢) القامة تعادل ٦ أقدام (١٫٨ متر) ، وهي الوحدة التقليدية لقياس الأعماق .



شكل (٢٠) المنحنى الهيبسوغرافي لسطح الأرض

نحو داخل البحر، كما هي الحال حول سواحل أوروبا. حتى أن البحار الهامشية لهذه القارة مثل البحر البلطي وبحر الشمال والبحر الادرياتى تقع كلها على الرف القاري، كما تقع على هذا الرف أيضا كل البحار الداخلية مثل البحر الأسود وبحر قزوين وتتسع الرفوف القارية كذلك حول سواحل شرق الولايات المتحدة وحول جزر إندونيسيا وغيرها من الجزر الواقعة بين شمال استراليا وجنوب شرق آسيا. وقد ثبت أن جميع الرفوف القارية المذكورة كانت في بعض العصور الجيولوجية، وخصوصا في العصور الجليدية التي تميز بها الزمن الجيولوجي الرابع (البليستوسين) أرضا يابسة، ففي تلك العصور تحولت مقادير ضخمة من مياه البحار والمحيطات إلى طبقات سميكة من الجليد الذي غطى مساحات شاسعة في أوروبا وأمريكا الشمالية، وترتب على ذلك هبوط منسوب سطح البحر حوالي ١٥٠ متراً أو أكثر في بعض العصور.

ولكن هناك فى نفس الوقت مناطق كثيرة تضيق فيها الرفوف القارية بشكل ملحوظ حتى أنها تكاد تختفى فى بعض هذه المناطق وهى تضيق بصفة خاصة بجوار السواحل التى نشأت نتيجة لحركات انكسارية سواء على الكتل الصلبة القديمة مثل كتلة إفريقيا والبرازيل والدكن أو نتيجة لحركات التوائية حديثة ، كما تدل على ذلك سلاسل الجبال المرتفعة التى تمتد على طولها ، وأهمها السواحل الغربية للأمريكتين وبعض سواحل شرق آسيا، وشرق استراليا. ففى كل هذه المناطق تبدأ الأعماق السحيقة على مسافات قصيرة من الساحل .

وتتميز الرفوف القارية بكثرة الرواسب المفككة التى تتراكم على سطحها . وهى تتكون عادة من رواسب خشنة بجوار الشاطىء ثم تتناقص أحجامها كلما توغلنا إلى داخل البحر . والرفوف القارية هى غالبا أغنى مناطق البحار فى ثرواتها السمكية لأن الأسماك تلجأ إليها وتتكاثر فيها بسبب كثرة ما ينمو بها من الكائنات العضوية التى يتكون منها البلانكتون ، وذلك لأن أشعة الشمس تستطيع أن تتعمق فيها حتى القاع تقريبا. وفضلا عن ذلك فإن بعض الرفوف القارية تحتوى على ثروات بترولية ومعدنية كبيرة ، كما أن بعض أجزائها المجاورة لليابس مباشرة يمكن تجفيفها واستغلالها للزراعة أو لأى أغراض أخرى . ولكل هذه الأسباب ولأسباب أخرى متعلقة بالدفاع والأمن فإن كل الدول التى لها شواطىء بحرية تحرص على أن تعتبر الرف القارى الملاصق لها جزءا من أملاكها أو مياهها الاقليمية . وقد عقدت بعض الاتفاقيات الدولية التى تهدف إلى تحديد مثل هذه المناطق وتنظيم المرور والملاحة فيها واستغلال ثرواتها حتى لا يحدث تصادم بين الدول التى لها مصالح مشتركة فيها . ومع ذلك فإن هذه الاتفاقيات لم تمنع حدوث كثير من المصادمات التى تنشأ عادة عند استغلال مصايد الأسماك أو الثروات المعدنية .

٢ ـ المنحدرات القارية Continental Slopes :

وهى المنحدرات الشديدة التى تنتهى عندها الرفوف القارية من ناحية البحر ، فهى تبدأ على هذا الاساس من خط عمق ٢٠٠ متر وتستمر فى انحدارها الشديد حتى تصل إلى العمق السائد فى قاع البحر أو المحيط، وهو عمق يتراوح فى ٩٦٪ من البحار والمحيطات بين ٣٠٠٠ و ٦٠٠٠ متر . وتختلف المنحدرات القارية من الرفوف القارية فى أن الرواسب المفككة التى تغطيها قليلة . وبأنها أفقر منها فى كائناتها الحية وثرواتها السمكية، وتقطع هذه المنحدرات فى بعض الاماكن وديان مغمورة عميقة جوانبها شديدة الانحدار Submarine Canyons. وقد يواصل بعضها امتداده فوق الرف القارى . وقد كان المعتقد هو أن هذه الوديان كانت فى الاصل وديانا نهرية ثم طغت عليها مياه البحر ، إلا أن بعض الباحثين يميلون الآن للاعتقاد بأن بعضها على الاقل قد نحت فى المنحدر القارى بواسطة تيارات السحب السفلية التى تصاحب الحركات المائية القوية ، حيث أن هذه التيارات تستطيع بفضل شدة انحدارها وكثرة ما تحمله من مواد صلبة أن تحفر قنوات عميقة فى المنحدر القارى (١) . وأشهر واد مغمور فى الوقت الحاضر هو الوادى الممتد أمام مصب نهر هدسن فى ولاية نيويورك .

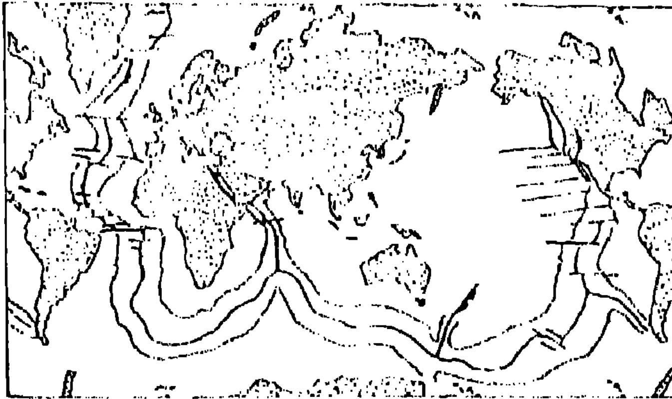
٣ ـ سلاسل الجبال المحيطية Oceanic Ridges :

وهى عبارة عن سلاسل جبلية تمتد تحت سطح الماء لمسافات طويلة ، وتضم كثيرا من المظاهر التضاريسية التى نعرفها على اليابس مثل الوديان والصدوع والهضاب والقمم البركانية . ويوجد من هذه السلاسل نطاق ضخم جدا يمتد فى وسط المحيط الاطلسى من جزيرة أيسلنده فى الشمال حتى القارة القطبية الجنوبية فى الجنوب أى لمسافة ١٥ ألف كيلومتر تقريبا . ويبلغ عرض هذا

(١) S. N. Namowitz, "Earth Science", 1964; P. 247.

النطاق ما بين ١٥٠٠ و ٢٠٠٠ كيلومترا . وهو يقسم المحيط الاطلنطى إلى حوضين كبيرين أحدهما شرقى والآخر غربى ، ولا تقل السلاسل الجبلية المكونة له فى ضخامتها عن كثير من سلاسل الجبال الكبرى على اليابس مثل جبال روكى ، ولكنها لا تظهر على السطح إلا فى منطقتين اثنتين هما منطقة جزر أزورس فى الشمال ومنطقة جزر أسانسيون فى الجنوب ، حيث أن هذه الجزر عبارة عن القمم البارزة لبعض جبال هذا النطاق . وفيما عدا ذلك فإن كل السلاسل الجبلية تقريبا توجد على عمق يتراوح بين ١٥٠٠ و ٢٧٥٠ مترا تحت سطح الماء ، بينما يبلغ متوسط ارتفاعها فوق القاع حوالى ١٥٠٠ متر .

وليس النطاق الجبلى المذكور إلا قسما من نطاق أعظم منه يمتد فى كل المحيطات ، فمن جنوب المحيط الأطلنطى تواصل السلاسل الجبليــة امتدادها فى المحيط الهندى والمحيطات القطبية الجنوبية والمحيط الهادى (شكل ٥٣) ويبدو أن هذا النطاق بأكمله هو أحد نطاقات التصدع الكبرى فى



شكل (٥٣) نطاق الجبال المحيطية والصدوع التى تقطعه

الخط المتموج يمثل الحدود الخارجية لنطاق السلاسل الجبلية المحيطية ، والخطوط المتصلة السميكة تمثل الوديان الانكسارية التى تقطعها طوليا وعرضيا .
(Strahler, 1968, P. 382)

لقشرة الأرض . ولقد كان من نتائج حركات التصدع على طوله أن تكونت سلسلة متصلة من الوديان (أو الأخاديد) الصدعية التي تشقه طوليا على طول محوره الأوسط ، وذلك بالإضافة إلى كثير من الصدوع الصغيرة التي تقطع السلاسل الجبلية في اتجاه مستعرض (راجع شكل ٥٣) [١] .

٤ – المخروطات البركانية القاطعة (أو الجى اوز Guyots وتنطق Gee-ohs)[٢]:

وهى عبارة عن مخروطات بركانية توجد قممها على عمق كبير تحت ماء البحر . وهى تتميز بقممها المسطحة الواسعة التي تجعلها أشبه بالهضاب . ويبلغ قطرها عشرات الكيلو مترات ، إلا أن بعضها يتميز بقممه المستديرة ويظهر هذا النوع الأخير عادة بشكل جبال منعزلة ، Seamounts وقد لوحظ أن السطح العلوى لكثير من الجى أوز مقطع بواسطة قنوات كثيرة والغالب هو أن هذه المخروطات كانت ترتفع إلى السطح وأن نحت الموج هو الذى قطعها بهذه الصورة قبل أن تهبط إلى الأعماق التي توجد فيها في الوقت الحاضر .

٥ – الاخاديد والاعماق المحيطية:

الأخاديد المحيطية Trenches عبارة عن وديان طولية شديدة العمق تقطع قاع المحيطات في أماكن مختلفة . أما الأعماق Deeps (أو Troughs) فهى مناطق حوضية شديدة العمق في الأخاديد أو في أى موضع آخر . ويطلق تعبير عمق Deep عادة على الأعماق التي تزيد على ٥٥٠٠ متر تحت سطح البحر. ولا تمثل الاخاديد والاعماق إلا نسبة ضئيلة جدا من قاع المحيطات، وعلى الرغم من أن أسباب نشأتها غير معروفة بالضبط فالغالب هو أنها تكونت بسبب

(١) A. N. Strahler, "Physical Geography" 2nd ed. 1968, P 381

(٢) S. N. Namowitz, Ibid., P. 247.

الحركات التكتونية ، ولذلك فإنها توجد غالبا فى المناطق التى تأثرت بهذه الحركات، ومن أهمها الحركات الالتوائية الكبرى التى حدثت فى شرق آسيا وغرب المحيط الهادى ، والتى أدت إلى ظهور أقواس الجزر الجبلية التى تمتد من بوغاز بيرنج فى الشمال حتى الجزر الاندونيسية فى الجنوب، فبجوار هذه الاقواس توجد أشد الأخاديد البحرية عمقا فى المحيطات ، ومنها أخدود الفلبين الذى يمتد إلى الشرق من هذه الجزر ، والذى يصل العمق فى أحد أجزائه وهو عمق سوايار Swire Deep إلى ١٠٨٦٠ مترا . وهو أكبر عمق فى كل المحيطات . ويكاد العمق يصل إلى نفس هذا الحد تقريبا فى أخدود آخر فى الشمال هو أخدود كوريل ـ كمتشتكا ومن أهم الأخاديد الأخرى فى نفس المحيط الاخدود الواقع إلى الشرق من جزر اليابان والاخدود الذى يمتد بشكل قوس كبير حول نطاق الجزر الممتدة إلى الجنوب من اليابان ومنها جزر بونين فى الشمال وجزر جوام فى الجنوب

أما فى المحيط الأطلسى فتوجد معظم الاخاديد فى وسط المحيط حيث يمتد أغلبها فى وسط النطاق الجبلى ويسير معه فى نفس الاتجاه ، بينما يقطعه عدد كبير منها فى اتجاه متعامد على امتداده . أما أعمق أجزاء هذا المحيط فتوجد فى أخدود بور توريكو الواقع إلى الشرق من جزر بور توريكو ، فى غرب المحيط ، وفيه يصل العمق إلى ٩٢٢٥ مترا .

والمعتاد هو أن يكون الانتقال سريعا جدا بين أعالى الجبال التى تشغل أقواس الجزر وقاع الأخاديد المجاورة لها بحيث يحدث الانتقال من أعلى الجبال إلى أعمق أجزاء المحيط فى مسافات وجيزة .

٦ – السهول العميقة Abyssal Plains :

بغض النظر عن المظاهر التضاريسية السابقة (وكما هى الحال على سطح

اليابس) فإن مساحات شاسعة من قاع المحيطات عبارة عن سهول تتميز باستواء سطحها تقريبا . وربما يكون بعض هذه السهول قد تكون نتيجة للإرساب المستمر للمواد الناعمة على طول ملايين السنين وإنتشارها على مساحات واسعة من القاع وتغطيتها للمظاهر التضاريسية الاخرى . ومثال ذلك السهل الواسع الذى تتكون منه مساحة واسعة من قاع المحيط الاطلسى الشمالى ، والذى يوجد على عمق حوالى ٥٠٠٠ متر تحت سطح البحر . ومع ذلك فتبرز على سطحه بعض الجبال المنعزلة Seamounts التى ربما كانت عبارة عن مخروطات بركانية قديمة (١) . ويوجد إلى الشمال من أخدود بور توريكو سهل عميق من هذا النوع يعرف باسم سهل نيرز العميق Nares Abyssal Plain .

طبيعه مياه البحار

(درجة حرارتها وملوحتها)

الملوحة :

تحتوى مياه البحار على مجموعة من الأملاح المختلفة التى توجد مادة بنسب ثابتة تقريبا فى مياه كل المحيطات الكبرى ، ولكنها قد تتباين نوعا ما فى البحار المتوسطة والبحار الداخلية على حسب ظروف كل منها ، كما سبق أن أوضحناه وتحسب درجة الملوحة عادة بمقدار وزن الأملاح التى توجد فى كل ١٠٠٠ جرام (كيلو جرام واحد) من الماء محسوبا بالجرامات . وقد حسب متوسط درجة الملوحة فى البحار والمحيطات فوجد أنه يتراوح فى معظمها بين ٣٣ ، ٣٧ فى الألف . ومع ذلك فان هذه النسبة تزيد على ذلك فى بعض البحار المدارية التى يكثر التبخر من سطحها ولا تصل إليها مياه عذبة تكفى لتعويض هذا التبخر مثل البحر الأحمر الذى تصل درجة ملوحة مياهه إلى ٤١ فى الألف . وكلما

---

(١) A. N Strahler, Ibid P. 381

زادت درجة ملوحة المياه زادت كثافتها . وأشد مياه البحار فى العالم ملوحة هى مياه البحر الميت ، وتبلغ درجة ملوحتها حوالى ٢٧٥ فى الألف ، ولهذا السبب فإن كثافتها مرتفعة بدرجة تجعل من الصعب على معظم الاجسام الحية أن تغوص فيها . وفضلا عن ذلك فان ارتفاع درجة ملوحة المياه يؤدى إلى انخفاض درجة تجمدها . ولذلك فان مثل هذه المياه قد تظل سائلة فى درجات أقل من درجة الصفر المئوى .

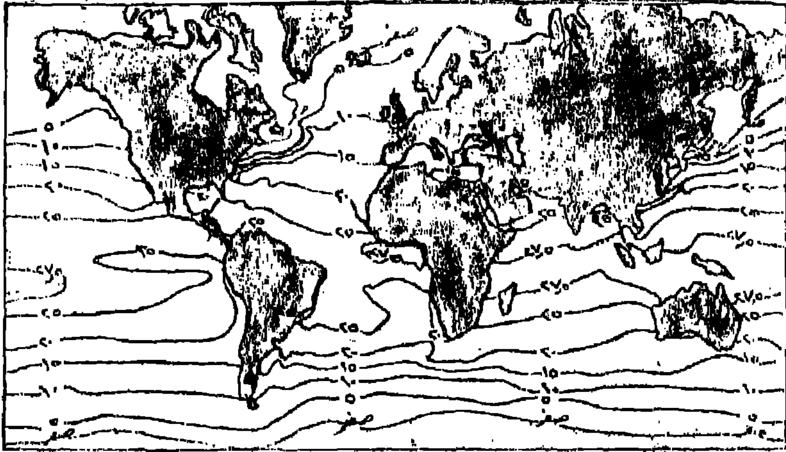
وأهم الأملاح التى توجد فى مياه البحار هى كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) ، فى المياه التى تبلغ درجة ملوحتها ٣٥ فى الألف مثلا يوجد حوالى ٢٧٫٢ جراما من كلوريد الصوديوم و ٣٫٨ جراما من كلوريد المغنيسيوم و ١٫٧٦ من سلفات المغنيسيوم و ١٫٢٦ من سلفات الكلسيوم و ٠٫٨٦ من سلفات البوتاسيوم ، وحوالى ٠٫١٢ من كربونات الكلسيوم وأقل من ٠٫١ من الجرام من بروميد المغنيسيوم ، وذلك فى كل كيلو جرام من الماء .

* درجة حرارة مياهها :

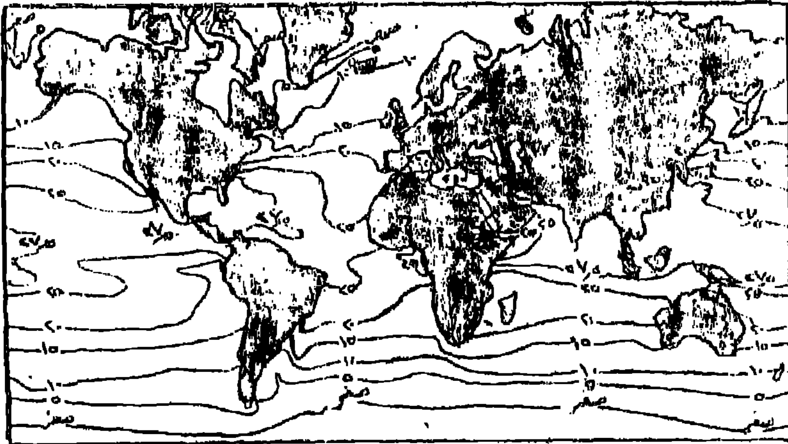
تتميز المياه عموما بأن درجة حرارتها لا تتغير بالسرعة التى تتغير بها درجة حرارة الاجسام الصلبة، فهى بعبارة أخرى تسخن ببطء وتبرد ببطء ، وهذه حقيقة علمية معروفة . وسببها هو أن الحرارة النوعية للماء مرتفعة نسبيا(١). وهذا معناه أن الماء يحتاج مادة إلى كمية من الحرارة أكبر من الكمية التى يحتاج إليها حجم مساو له من اليابس لكى ترتفع درجة حرارة كل منها بنفس النسبة، ومعناه أيضا أن البحار تستطيع أن تمتص كميات كبيرة من الحرارة دون أن ترتفع درجة حرارتها ارتفاعا كبيرا ، كما أنها تستطيع أن تفقد كميات منها

---

(١) الحرارة النوعية هى الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة مئوية واحدة .



شكل (٥٤) معدلات درجة حرارة سطح مياه البحار فى شهر أغسطس



شكل (٤٨) معدلات درجة حرارة سطح مياه البحار فى شهر فبراير

كذلك دون أن تنخفض درجة حرارتها انخفاضا كبيرا كذلك . ولهذا السبب نجد أن الفروق الحرارية الكبيرة التي تظهر على اليابس لا يوجد لها نظير في البحار ، فبينما ترتفع درجة الحرارة في بعض أيام الصيف في الصحارى المدارية إلى ٥٠° مئوية وتنخفض في بعض أيام الشتاء في بعض الأصقاع القارية الباردة من سيبيريا إلى — ٧٠° مئوية فإن مياه البحار يندر أن ترتفع درجة حرارتها عن ٣٠°م أو تنخفض عن — ٢°م .

ونظرا لأن مياه البحار في حركة مستمرة فإن الحرارة التي تمتصها من أشعة الشمس لا يقتصر تأثيرها على المياه السطحية في منطقة امتصاصها وحدها بل إن هذه الحرارة تختلط بطبقة سميكة من المياه ، كما أنها تنتقل من مناطق امتصاصها إلى مناطق أخرى بعيدة عنها بمئات الكيلو مترات بواسطة التيارات البحرية . ولكن يلاحظ أن هذه الحرارة لا تصل غالبا إلى الأعماق الكبيرة التي لا تتأثر بحركات الماء ، وخصوصا في الأعماق السحيقة من المحيطات الكبرى ، ولذلك فإن مياه هذه الأعماق تكون دائما باردة ، وتتراوح درجة حرارتها غالبا بين درجتين وأربع درجات مئوية . وفضلا عن ذلك فإن الحرارة التي يكتسبها سطح البحر في العروض الحارة لا يقتصر تأثيرها على مياه هذه العروض أو على مناخ سواحلها وإنما تنتقل بعض حرارتها بواسطة التيارات البحرية المعروفة إلى المناطق التي تمر بها والتي قد يبعد بعضها عن المناطق التي اكتسبت فيها الحرارة بآلاف الكيلو مترات .

والخلاصة أن مياه البحار تلعب دورا مهما في تنظيم الحرارة وفي تلطيف الجو ، كما أنها تساعد على نقل الحرارة من مكان إلى آخر على طول السواحل ، فتساعد بذلك على تدفئة بعض سواحل الأقاليم الباردة وعلى تلطيف حرارة سواحل بعض الأقاليم الحارة .

الفصل التاسع

حركات مياه البحار والمحيطات

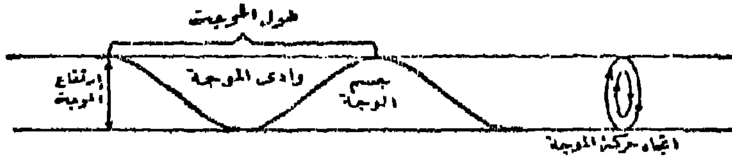
(الأمواج ـ المد والجزر ـ التيارات البحرية)

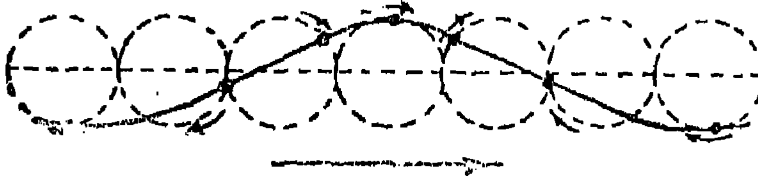
اولا ـ الأمواج WAVES

الأمواج هى حركات رأسية تنتقل بها جزيئات الماء إلى أعلى وإلى أسفل بشكل متوافق . وهى تتباين فى أحجامها وفى شدتها تباينا كبيرا على حسب قوة العوامل التى تسببها وحجم المياه التى تحدث فيها ، فهى تتراوح بين التموجات البسيطة التى تسببها حركة الهواء فوق سطح المياه الهادئة أو التى يسببها سقوط جسم صلب فى هذه المياه إلى الأمواج العاتية التى ترتفع إلى عدة أمتار وتؤدى أحيانا إلى غرق السفن بل وإلى غرق بعض البلاد الساحلية. ولكل موجة من الموجات سرعة انتشار معينة وسرعة تردد معينة كذلك ، كما أن لكل موجة طول معين وارتفاع معين كذلك. والمقصود بطول الموجة هو المسافة بين قمتى أو بين قاعى موجتين متجاورتين ، أما المقصود بارتفاعها فهو المسافة بين قمتها وقاعها . وكثيرا ما تختلط أو تتتابع أنواع متباينة الأحجام من الأمواج فى نفس المنطقة فتعطى سطح البحر مظهرا معقدا ، ويحدث هذا عادة إذا تقابلت الموجات القادمة من اتجاهات مختلفة .

وهناك نوعان من الأمواج أحدهما ينشأ فى البحار والمحيطات بعيدا عن الشاطىء ، وسببه هو هبوب الرياح من اتجاه واحد مما يؤدى إلى اهتزاز المياه فى حركة رأسية ، ويطلق على هذا النوع اسم « الموجات الاهتزازية » Waves of Oscillation ، أما النوع الثانى فيكون بالقرب من الشاطىء ويطلق عليه اسم « موجات الارتطام Waves of Translation » وهى فى الأصل

موجات اهتزازية ولكنها تتكسر عندما تدخل المياه الشاطئية المنطقة الضحلة وترتطم بالشاطىء . ويتوقف حجم الموجات الاهتزازية وسرعة ترددها على سرعة الرياح من جهة واتساع المسطحات المائية التي تتكون فيها من جهة أخرى ، فبينما قد يصل طول الموجة في المحيط إلى ١٦٠ متراً ويصل ارتفاعها إلى ٨ أمتار فان طولها في البحار المقفلة أو شبه المقفلة مثل البحر المتوسط لا يزيد عن خمسين مترا ولا يزيد ارتفاعها عن ستة أمتار .





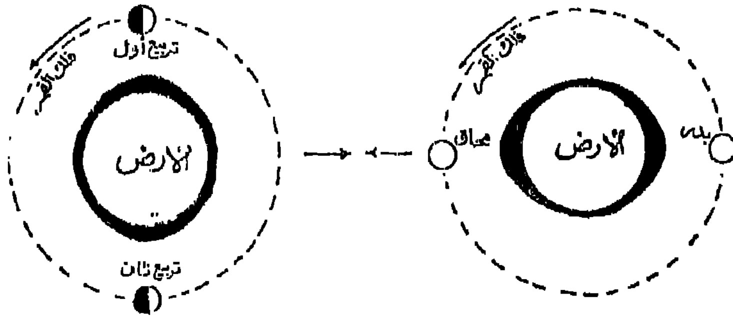
شكل (٥٦) حركة الأمواج

ويمكن أن تدخل في الأمواج كذلك موجات « التسونامى Tsunamis » التي تنشأ بسبب حدوث الزلازل تحت قاع البحر أو بالقرب منه ، وهى موجات مائية يزيد ارتفاعها على عشرين مترا ، وقد يترتب عليها غرق بعض البلاد الساحلية وحدوث خسائر مادية وبشرية جسيمة .

وللأمواج عموما أهمية جغرافية واضحة بسبب تدخلها القوى في تشكيل السواحل ونحت صخورها وتوزيع المواد الرسوبية المختلفة على طولها ، أو حملها إلى داخل البحر . وهى العامل الرئيسى في نشأة كثير من المظاهر الجيومورفولوجية الساحلية مثل الكهوف الشاطئية والمسلات البحرية والأقواس البحرية وغيرها .

ثانياً — المد والجزر TIDES

المد High Tide والجزر Low Tide هما حركتا ارتفاع وانخفاض ماء البحر أمام معظم سواحل البحار والمحيطات بتتابع يومي منتظم يتكرر فيه كل منها مرتين . ولكن على الرغم من أن الفترات التي تفصل بين المد والجزر الذي يليه ، أو بين المدين أو الجزرين اللذين يحدثان خلال اليوم الواحد تكون واحدة تقريباً من يوم إلى آخر فان أوقات حدوثها تتأخر يومياً بمعدل ٥٢ دقيقة خلال الشهر العربي ، وهي نفس المدة التي يتأخر بها ظهور القمر كل ليلة منذ مولده في أول الشهر حتى اختفائه في آخره .



شكل (٤٧) المد High Tide والجزر Low Tide
السهمان اللذان في وسط الشكل يدلان على اتجاه جاذبية الشمس

١ — جاذبية القمر ، وهي أهم العوامل على الاطلاق . وقد اكتشفها العلماء منذ زمن بعيد ، واستطاعوا فعلا أن يلاحظوا العلاقة القوية بين حدوث المد والجزر وبين تغير أوجه القمر . وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن هذه العلاقة موجودة بالفعل وأن جاذبية القمر هي المسئولة أولا عن حدوث هذه الظاهرة ، ولكنها أثبتت كذلك أن هناك عوامل أخرى مساعدة تتحكم في توقيت حدوثها وفي تحديد مدى ارتفاع المد أو هبوط الجزر على طول أيام الشهر العربي . وأهم هذه العوامل المساعدة هي الآتية :

٢ – جاذبية الشمس ، ولكن تأثيرها أضعف بكثير من تأثير جاذبية القمر بسبب البعد الشاسع بين الأرض والشمس، ولا يظهر هذا التأثير بوضوح إلا عندما تكون الشمس والأرض والقمر واقعة في مستوى واحد، فعندئذ تتعاون الجاذبية الشمسية مع جاذبية القمر على زيادة ارتفاع المد وزيادة انخفاض الجزر لأن اتجاه الجاذبيتين يكون واحداً، ويحدث هذا مرتين في الشهر العربي إحداهما في منتصفه والثانية في آخره ، أي عندما يكون القمر بدراً أو محاقاً، وعندئذ يصل المد إلى أعلى مستوى له وينخفض الجزر إلى أدنى مستوى له . ويطلق عليها في هذه الحالة اسم المد أو الجزر الربيعي Spring Tide أما عندما يكون القمر تربيعاً فان اتجاه جاذبية الشمس يكون عمودياً على اتجاه جاذبية القمر فيضعف تأثيره ويكون المد والجزر عندئذ ضعيفين . ويطلق عليهما في هذه الحالة تعبير « المد أو الجزر المحاقي Neap Tide » شكل (٥٧) .

٣ – دوران القمر حول الأرض، وهذا العامل هو المسئول عن تأخر ميعاد حدوث المد والجزر بنحو ٥٢ دقيقة كل يوم عن اليوم السابق له، فلو تصورنا أن البحار تحيط بالكرة الأرضية إحاطة تامة، وأن القمر ثابت في موضع واحد فان ذلك سيؤدي إلى حدوث موجتين متساويتين من المد العالي على المكان الواحد بينهما ١٢ ساعة وهي المدة اللازمة لانتقال أي نقطة من الجانب المواجه للقمر إلى الجانب المقابل له، ولكن بما أن القمر يدور حول الأرض مرة كل ٢٩ يوما مروره على النقطة الواحدة يتأخر ٥٢ دقيقة يومياً :

٤ – قوة الطرد المركزية لدوران الأرض، حيث أنها تساعد على ارتفاع المد.

٥ – توزيع الماء واليابس وتحرك المياه ، وهذا العامل هو المسئول عن اختلاف مدى المد والجزر من مكان إلى آخر على سطح الارض ، فلو كانت البحار تحيط بالأرض إحاطة تامة لكان من الممكن تحديد ارتفاع المد ومدته في

أي نقطة على سطحها بسهولة على أساس قوة جذب القمر وقوة الطرد المركزي للأرض ، ولكن نظراً لأن البحار تختلط باليابس ولأن مياهها دائمة الحركة فإن ارتفاع المد يختلف من بحر إلى آخر ويحتاج حسابه إلى بعض العمليات المعقدة نوعاً ما . ففي بعض الأماكن يصل ارتفاع المد إلى حوالي ١٩ متراً بينما يقل عن ذلك كثيراً أو ينعدم في بعضها الآخر . ومن الأماكن التي تشتهر بارتفاع المد فيها نذكر على سبيل المثال خليج فوندي Bay of Fundy في شبه جزيرة نوفا سكوشيا بكندا وفيه يبلغ ارتفاع المد ١٩٫٦ متراً ، ومصب نهر سيفيرن Severn بانجلترا وفيه يبلغ ١٦٫٨ متراً ، وساحل جران فيل Grand Ville في شمال فرنسا وفيه يبلغ ١٦٫١ متراً . ويلاحظ عموماً أن ارتفاع المد يكون كبيراً بصفة خاصة في مداخل الأنهار مثل سيفيرن في انجلترا ، فعندها يرتفع المد إلى درجة كبيرة بسبب تقابل المياه المتقدمة من البحر مع المياه القادمة من النهر . ويعتبر البحر المتوسط من ناحية أخرى من أقل البحار تأثراً بالمد حيث لا يكاد يرتفع المد فيه عن ٠٫٤ من المتر في المتوسط ولقد كان ذلك من أهم العوامل التي ساعدت كثيراً من الأنهار التي تصب في هذا البحر مثل نهر النيل ونهر الرون ونهر البو على تكوين دالات لها .

ويعتبر المد والجزر من العوامل التي لهما علاقة بتوزيع الرواسب والكائنات الحية الدقيقة والبلانكتون (١) على طول السواحل التي تتأثر بهما كما أن لها علاقة كبيرة بنظام حياة الأسماك وحركاتها ، ومن الواضح أنهما تؤثر كذلك على نظام الحركة في الموانئ التي تتعرض لها ، ولذلك فإن تخطيط هذه الموانئ وتوزيع منشآتها تراعى فيه دائماً الآثار الناتجة عن حركتي المد والجزر .

---

(١) البلانكتون هو المواد العضوية التي تتغذى عليها الأسماك .

وأخيراً يلاحظ أنه على الرغم من أن حركة المد والجزر فى البحر المتوسط ضعيفة جداً فإنها تكون قوية نسبياً فى مواضع قليلة مثل خليج قابس حيث يصل الفرق بين مستوى المد ومستوى الجزر إلى مترين ، وعند جبل طارق حيث يصل إلى ١٫٢ متر ، وفيما عدا ذلك يندر أن يزيد هذا الفرق على نصف متر ، فى جنوة مثلا يبلغ ٠٫٣ متر فقط وأمام جزيرة كورفو ٧ سنتيمترات فقط . وهذه الظاهرة تعتبر من العوامل التى ساعدت كثيراً من الأنهار التى تصب فى هذا البحر مثل النيل والرون والبو على تكوين دالات لها .

ثالثاً — التيارات البحرية

OCEAN CURRENTS

أسبابها ونظامها العام :

التيارات البحرية عبارة عن مسيرات منتظمة للمياه السطحية للمحيطات وبعض البحار الكبيرة ، وبمقتضاها تتحرك قطاعات من هـــذه المياه بطريقة مشابهة لحركة مياه الأنهار البطيئة الجريان ، وهى تأخذ فى مسيراتها اتجاهات معروفة تفرضها عوامل مختلفة أهمها اتجاه الرياح ودوران الأرض حول نفسها وشكل السواحل . ولهذه التيارات آثار مناخية هامة تختلف باختلاف طبيعتها ، فهى إما أن تكون دافئة فتعمل على تدفئة السواحل التى تمر بهـا ، وإما أن تكون باردة فتعمل على خفض درجة حرارتها .

وتنشأ التيارات البحرية بنظامها المعروف نتيجة لعدة عوامل ، منها الرياح العامة التى تعتبر فى الواقع أهم العوامل على الإطلاق ، وإلى جانبها توجد عوامل أخرى تساعد على تحريك المياه أو توجيهها بشكل خاص ، ومنهـا اختلاف درجة حرارة المياه وكثافتها من مكان إلى آخر ، ثم اختلاف منسوب الماء فى بعض البحار المتجاورة ، نتيجة لكثرة التبخر من سطح الماء فى بعضها وكثرة ما ينصب فى بعضها الآخر من ميـاه الأنهار والأمطار والثلوج

المنعمرة ، ويعتبر شكل السواحل كذلك من العوامل المهمة التي تحـــدد الاتجاهات التي تسير فيها بعض التيارات البحرية ، كما سنبين عند دراسة التيارات في المحيطات المختلفة ، كما أن حركة الأرض حول نفسها تعمل باستمرار على انحراف التيارات البحرية بطريقة مشابهة لانحراف الرياح حسب قانون فرل ، ومعنى ذلك أن التيارات تنحرف قليلا إلى يمين هدفها في نصف الكرة الشمالي وإلى يساره في نصفها الجنوبي ، اللهم إلا إذا اضطرت بسبب شكل السواحل إلى أن تأخذ اتجاهات معينة .

ويمكننا أن نبين مدى تحكم الرياح العامة في نظام التيارات البحرية إذا ما قارنا خريطتي توزيع كل منها في العالم ، حيث نرى أن هناك توافقا شديدا بينهما ، ولتوضيح هذه الحقيقة نبدأ مثلا بتتبع الرياح التجارية ما بين خطى عرض ١٠° و ٢٠° في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي على أحد المحيطين الأطلسي أو الهادي أننا سنلاحظ أن هذه الرياح تدفع أمامها الطبقة السطحية من مياه الاجزاء الشرقية للمحيط على شكل تيارين مائيين يتجهان نحو خط الاستواء من الشمال ومن الجنوب ، ونظراً لأن هذين التيارين ينتقلان إلى مناطق أشد حرارة من المناطق التي يأتيان منها فان مياهها تبدو باردة نسبيا ، ولذلك فإنها تساعد على تلطيف درجة حرارة السواحل التي تمر بجوارها .

وعندما يصل هذان التياران إلى قرب خط الاستواء يغيران اتجاههما ويأخذان في التحرك نحو الغرب فيتكون منها تياران موازيان لخط الاستواء وهما التيار الاستوائي الشمالي والتيار الاستوائي الجنوبي . وتكون مياههما قليلة الحرارة في أول الأمر ولكنها تسخن تدريجيا بسبب شدة الحرارة في هذه العروض ، وعندما يقابل هذان التياران الساحل الغربي للمحيط يتجه الاول منهما نحو الشمال بينما يتجه الثاني نحو الجنوب ، ونظراً لأن مياههما تكون حارة فانها تعمل على تدفئة السواحل التي تمر بها ، ويستمر هذان التياران في حركتها نحو الشمال ونحو الجنوب حتى خط عرض ٤٠° او ٤٥° تقريبا ،

ثم يغيران اتجاههما نحو الشرق بتأثير الرياح العكسية، فإذا ما وصلا إلى الجانب الشرقي المحيط دفعتها الرياح التجارية مرة أخرى نحـو خط الاستواء حيث تبدأ الدورة من جديد . ويلاحظ أن جزءا من مياه التيارات الاستوائية التي تصل إلى الساحل الغربي للمحيط يرتد نحو الشرق على طول خط الاستواء على شكل تيار يطلق عليه اسم التيار الاستوائي الراجع (أو العائد) .

وإلى جانب الدورة التي سبق وصفها توجد كذلك تيارات شديدة البرودة تدفعها الرياح القطبية نحو الجنوب بصفة عامة في نصف الكرة الشمالي ، ونحو الشمال في نصفها الجنوبي . ويلاحظ مع ذلك أن الدورة السابقة تتغير نوعا ما في المحيطات المختلفة على حسب الظروف الخاصة بكل منها ، من حيث الاتساع وشكل السواحل ونظام هبوب الرياح وغيرها .

ويلاحظ عموما أن التيارات الرئيسية في المحيطات المختلفة تتزحزح نوعا ما نحو الشمال في فصل الصيف (الشمالي) ، ونحـو الجنوب في فصل الشتاء تبعا لحركة الشمس الظاهرية، شأنها في ذلك شأن النطاقات العامة للحرارة والضغط الجوى والرياح .

تيارات المحيط الاطلسي :

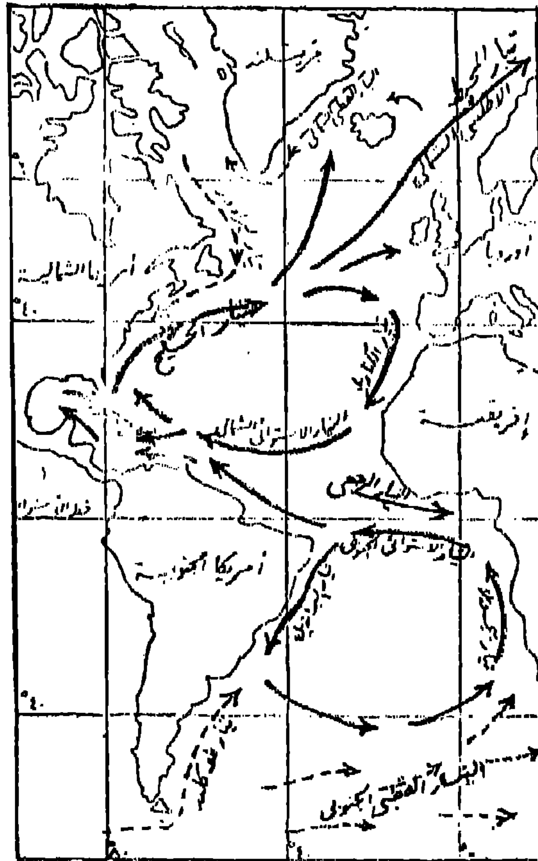
يتفق نظام التيارات البحرية في هذا المحيط اتفاقا واضحا مع الدورة العامة التي سبق وصفها (وذلك باستثناء بعض أوجه الاختلاف التي تظهر بصفة خاصة في أقصى الشمال) فاذا نظرنا إلى الخريطة شكل (٥٨) نلاحظ أن هناك تيارين باردين يتحركان نحو خط الاستواء في الأجزاء الشرقية من المحيط وهما : ١ — تيار الكناريا ، نسبة إلى جزر الكناريا في الشمال و ٢ — تيار بنجويلا ، نسبة إلى اقليم بنجويلا في جنوب غرب أفريقيا في الجنوب .

وبالقرب من خط الاستواء ينحرف هذان التياران نحو الغرب ، ويتكون منهما التيار الاستوائي الشمالي من جهة والتيار الاستوائي الجنوبي من جهة أخرى،

وعندما يتصادم هذان التياران الاستوائيان بساحل أمريكا الجنوبية يرتد جزء بسيط من مياههما على طول خط الاستواء نحو الشرق على شكل تيار يطلق عليه اسم التيار الاستوائي الراجع ، وهو الذي يعرف عند الساحل الافريقي باسم تيار غانة الحار ، وفيما عدا ذلك نجد أن التيار الإستوائي الشمالي يتحرك في جملته نحو الشمال الغربي على امتداد الساحل الشمالي لأمريكا الجنوبية ، أما الجنوبي فينقسم عند مصادمته لشبه جزيرة سان روك St. Roque إلى قسمين ، الأول منهما ينضم إلى التيار الاستوائي الشمالي ، أما الثاني فيتحرك جنوبا ويتكون منه تيار البرازيل الدافيء ، الذي يستمر في تحركه حتى حوالي خط عرض ٤٠° جنوبا ، ثم يغير اتجاهه بتأثير الرياح العكسية نحو الشرق ، وتنضم إليه بعض التيارات القطبية الباردة ومنها تيار فوكلاند في أقصى جنوب شرق أمريكا الجنوبية ، ويتكون منها جميعا تيار بنجويلا الذي سبقت الاشارة إليه .

أما في شمال خط الاستواء فيتحرك التيار الاستوائي الشمالي ، بالإضافة إلى القسم الذي انضم إليه من التيار الجنوبي ، نحو البحر الكاريبي وجزر الهند الغربية . ثم يدخل القسم الأكبر منه إلى خليج المكسيك ، بينما يتحول القسم الآخر إلى الشرق من جزيرة فلوريدا ، ويتكون منه ، تيار الخليج Gulf Stream، وهو أعظم تيارات المحيط الأطلنطى ، بل أعظم تيارات العالم على الاطلاق ، ويرجع ذلك إلى أن مياهه تأتى من ثلاثة مصادر هى : ١ ــ مياه التيار الاستوائى الشمالي نفسه ، ٢ ــ القسم الذى ينضم إليها من مياه التيار الإستوائى الجنوبي ، ٣ ــ المياه الكثيرة التى تصل إلى خليج المكسيك بواسطة الأنهار التى تصب فيه ، وأهمها نهر المسيسبى .

ويواصل تيار الخليج حركته بحذاء الساحل الشرقى للولايات المتحدة ، ويكون عرضه فى المتوسط حوالى ٧٥ كيلو مترا ، وعمقه نحو ٦٥٠ مترا ودرجة حرارة مياهه ٢٧°م تقريبا ، وتكون سرعته بالقرب من شبه جزيرة



شكل (٥٨) التيارات البحرية في المحيط الأطلنطي

فلوريدا حوالى سبعة كيلو مترات ونصف فى الساعة ، ويرجع ذلك إلى قوة اندفاع المياه الكثيرة التى تخرج من خليج المكسيك عن طريق المضيق المحصور بين جزيرة كوبا وشبه جزيرة فلوريدا ، ولكن هذه السرعة تقل تدريجيا حتى تصبح حوالى كيلو مترين فى الساعة أمام سواحل نيوفوندلاند . وهناك يبدأ التيار فى تغيير اتجاهه نحو الشرق بتأثير الرياح العكسية الجنوبية الغربية ، ولكنه يشذ فى دورته نوعا ما عن الدورة العامة التى سبق وصفها ،

فبدلا من أن يتحول جميعه نحو الجنوب عند مقابلته لسواحل الجزر البريطانية وغرب أوروبا ، فإنه يتفرع إلى فرعين كبيرين ، يتجه أحدهما نحو الجنوب على طول السواحل الغربية لفرنسا وشبه جزيرة أيبيريا وشمال غرب إفريقية حيث يتكون منه تيار الكناريا البارد ، أما الفرع الثاني وهو الأكبر فيواصل حركته نحو الشمال الشرقي مارا بين أيسلاندة والجزر البريطانية حتى يصل إلى سواحل النرويج وروسيا ، ويطلق عليه أحيانا اسم تيار المحيط الأطلسي الشمالي الدافىء ، ومنه يتفرع فرع صغير يتجه نحو أيسلاندة وينضم في النهاية إلى التيارات القطبية الباردة التي تتجه جنوبا ، وأهمها تيار لبرادور الذي يتقابل مع تيار الخليج عند جزيرة نيو فوندلاند .

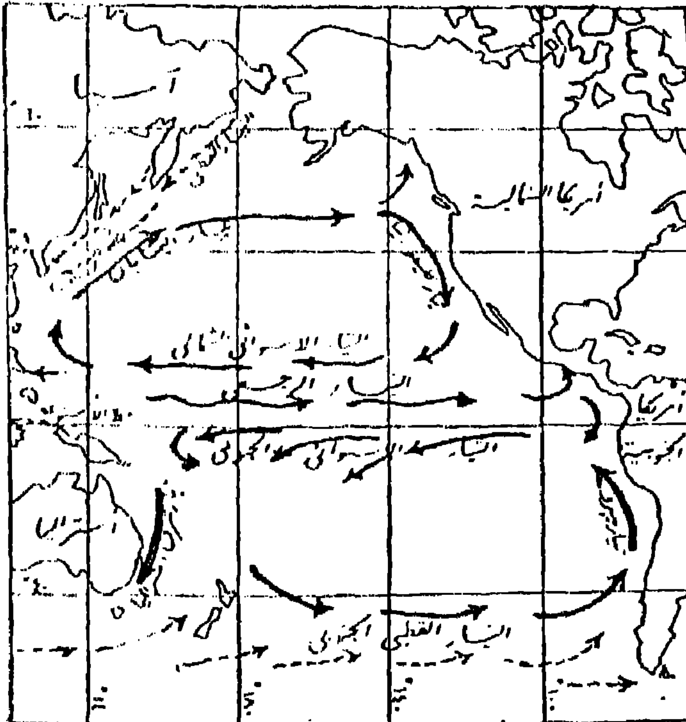
تيارات المحيط الهادي :

لا تختلف تيارات المحيط الهادي في نظامها العام اختلافا كبيرا عن تيارات المحيط الأطلسي ، وذلك باستثناء بعض الاختلافات البسيطة التي يرجع معظمها إلى عدم تشابه شكل السواحل في المحيطين ، فبالنظر إلى الخريطة شكل (٥٢) نرى أن السواحل الغربية للأمريكتين يحف بها تياران باردان يسيران نحو خط الإستواء . وهما تيار كاليفورنيا في الشمال وتيار بيرو (أو همبولت Humboldt) في الجنوب ، ومنهما يتكون تياران استوائيان يسيران غربا حتى جزر أندونيسيا وشرق أستراليا ، ومن هنا ترتد بعض مياههما على طول خط الاستواء مكونة التيار الاستوائي الراجع الذي يتحرك بين التيارين الأصليين .

وفي غرب المحيط يتجه التيار الاستوائي نحو الشمال ثم الشمال الشرقي ، ويمر بسواحل اليابان الشرقية ويطلق عليه اسم تيار اليابان الحار ، وهو الذي يطلق عليه كذلك اسم تيار كوروسيفو « Kuro Siwo » أو « Kuro Shio » (أي التيار الأسود) . وحوالي خط عرض ٥٢° شمالا يغير هذا التيار اتجاهه

نحو الشرق بتأثير الرياح العكسية الجنوبية الغربية حتى إذا ما وصل إلى الساحل الغربي لأمريكا الشمالية انحرف منه نحو الجنوب مكونا تيار كاليفورنيا الذي سبقت الإشارة إليه .

ويلاحظ أن تيار اليابان الحار يقابل إلى الشرق من جزيرة يزو (إحدى جزر اليابان الشمالية) بتيار قطبي بارد يأتي من جهة مضيق بيرنج ويحف سواحل شبه جزيرة كمشتكا وجزر كوريل ، ويطلق عليه اسم تيار كمشتكا أو تيار كوريل . وهو يشبه تيار لبرادور في شمال غرب المحيط الأطلسي ، ولكنه أضعف منه بكثير .



شكل (٥٩) التيارات البحرية في المحيط الهادي

أما التيار الاستوائي الجنوبي فيتحول إلى تيار شرق استراليا الدافىء الذي يتحرك جنوباً بجوار سواحل استراليا الشرقية وسواحل نيوزيلنده ، وذلك حتى حوالي خط عرض ٤٢° جنوباً ، ثم يغير اتجاهه نحو الشرق بتأثير الرياح العكسية الشمالية الغربية ، ويلتحم هنا ببعض التيارات الباردة التي تأتي من الجنوب ، وعندما يصل إلى أمريكا الجنوبية يتجه نحو الشمال بحذاء ساحلها الغربي على شكل تيار يعرف باسم تيار بيرو أو همبولت ، وهو الذي يتحول عند خط الاستواء إلى التيار الاستوائي الجنوبي .

وهناك بعض الاختلافات بين تيارات المحيط الهادي وتيارات المحيط الاطلسي ، وأهم أوجه هذا الاختلاف هي :

١ — أن التيارات الباردة في شمال المحيط الاطلسي أعظم بكثير من نظيراتها في شمال المحيط الهادي وذلك لأن المحيط الهادي يكاد يكون مقفلا من ناحية الشمال ، حيث لا يصله بالمحيط المتجمد الشمالي إلا بوغاز بيرنج الضيق ، وهو لا يسمح إلا بمرور تيارات ضعيفة نسبيا .

٢ — أن تيار اليابان الحار أضعف بكثير من تيار الخليج ، لأن الأخير يتكون في الواقع من مياه التيار الاستوائي الشمالي مضافا اليها جزء كبير من مياه التيار الاستوائي الجنوبي . وذلك فضلا عن مياه الأمطار الكثيرة ومياه الأنهار التي تصب في خليج المكسيك ، أما تيار اليابان فانه يتكون عموما من مياه التيار الاستوائي الشمالي وحدها ، بل إن جزءاً من هذه المياه يتسرب بين جزر أندونيسيا ويواصل سيره نحو الغرب حتى يدخل المحيط الهندي ، وفضلا من ذلك فان مياه تيار اليابان تكون أقل سخونة من مياه تيار الخليج التي يؤدي مرورها في البحر الكاريبي ثم تجمعها في خليج المكسيك إلى زيادة درجة حرارتها، ونظرا لصغر مساحة المحيط الاطلسي بالنسبة للمحيط الهادي

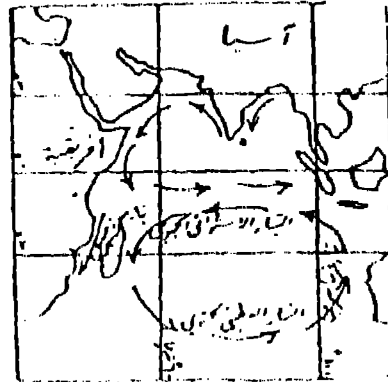
فإن مياه تيار الخليج تظل محتفظة بنسبة كبيرة من حرارتها حتى بعد وصولها إلى سواحل غرب أوروبا في حين أن تيار اليابان يفقد جزءاً كبيراً من حرارته أثناء عبوره المحيط الهادى وهو أعظم مساحة بكثير من المحيط الاطلسى ، ولهذه الاسباب نجد أن تأثير تيار الخليج على مناخ سواحل أوروبا الغربية يفوق كثيرا تأثير تيار اليابان الدافىء على مناخ الساحل الغربى لكندا وشمالى غربى الولايات المتحدة .

تيارات المحيط الهندى :

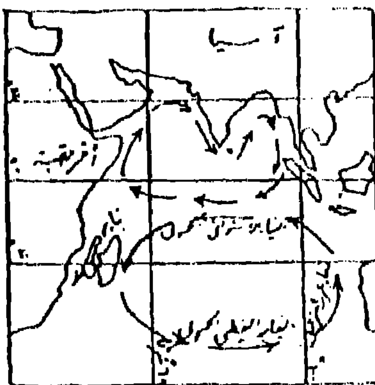
يتميز المحيط الهندى بظروفه الخاصة التى أدت إلى اختلاف نظام التيارات البحرية فيه عن النظام الذى سبق أن رأيناه فى المحيطين الاطلسى والهادى . ويظهر هذا الاختلاف بصفة خاصة فى القسم الشمالى من المحيط ما بين خط الاستواء وسواحل آسيا الجنوبية ، ففى هذا القسم يتغير اتجاه التيارات البحرية تغيراً تاماً فى فصل الشتاء عنه فى فصل الصيف ، كما يظهر عند مقارنة شكلى (٥٣) و(٥٤) ، حيث نلاحظ أن التيار الذى يمر بجوار الساحل الجنوبى لآسيا فى فصل الشتاء يتجه بصفة عامة من الشرق إلى الغرب . والسبب فى ذلك هو هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية فى هذا الفصل من داخل آسيا نحو المحيط الهندى ، وعندما يصل هذا التيار إلى شرق إفريقية ينحرف جنوبا حتى يعبر خط الاستواء (كما تفعل الرياح الموسمية الشتوى نفسها) ثم يغير اتجاهه بعد ذلك نحو الشرق مكوناً التيار الاستوائى الشمالى ، أما فى فصل الصيف فتنعكس الدورة بسبب تغير اتجاه الرياح الموسمية ، التى تهب على شبه جزيرة الهند والبحر العربى فى هذا الفصل من الجنوب الغربى بصفة عامة ، فتدفع أمامها المياه الساحلية على شكل تيار يتجه نحو الشرق ، فاذا ما وصل إلى ساحل الملايو والهند الصينية غير اتجاهه نحو الجنوب ، وأخيرا يتحول

إلى تيار استوائي يتجه من الشرق إلى الغرب، ومن الواضح أن شكل الساحل الهندي له تأثير واضح على اتجاه التيار البحري الذي يضطر للدوران حوله عند انتقاله من خليج بنغال إلى البحر العربي في فصل الشتاء، أو العكس في فصل الصيف.

أما إلى الجنوب من خط الاستواء، فلا يختلف نظام التيارات البحرية في المحيط الهندي عن نظامها في المحيط الأطلسي الجنوبي أو المحيط الهادي الجنوبي، ففي الشرق يوجد تيار غرب استراليا الذي تدفعه الرياح التجارية الجنوبية الشرقية نحو خط الاستواء ثم يتكون منه التيار الاستوائي الجنوبي الذي يتحرك غربا حتى يصل إلى الساحل الشرقي لأفريقية، وينحرف نحو الجنوب على شكل تيار دافئ يطلق عليه اسم تيار موزمبيق، نسبة إلى إقليم موزمبيق في شرق أفريقية. وأخيرا يغير اتجاهه نحو الشرق بتأثير الرياح العكسية الشمالية الغربية حتى يلتحم بتيار غرب استراليا، وتبدأ الدورة من جديد.



شكل (٦٠)
التيارات البحرية في المحيط الهندي
في فصل الشتاء

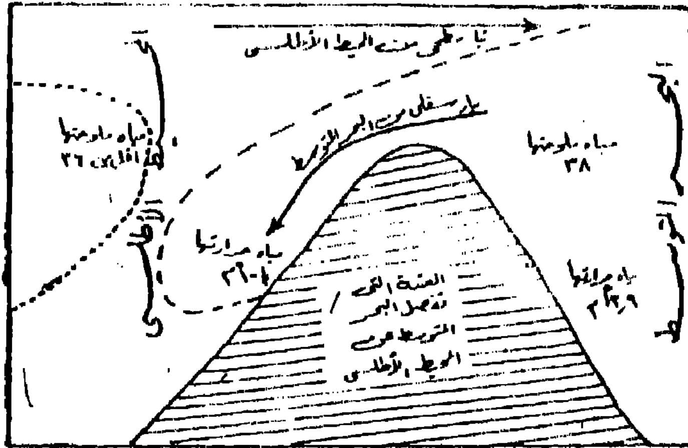


شكل (٦١)
التيارات البحرية في المحيط الهندي
في فصل الصيف

تيارات البحر المتوسط :

يمتاز البحر المتوسط ببعض التيارات السطحية التي تختلف في طبيعتها وأسبابها عن التيارات الرئيسية في المحيطات الكبرى ، لأن العامل الرئيسي الذي يحرك مياه المحيطات هو الرياح العامة . أما المياه السطحية في البحر المتوسط فتتحرك نتيجة لعوامل أخرى من أهمها ارتفاع درجة ملوحة مياه هذا البحر ، وارتفاع درجة حرارتها بالنسبة لمياه المحيطات عموما . ويرجع ذلك إلى دفء البحر المتوسط وسرعة تبخر مياهه من ناحية ، وعدم كفاية ماينصب فيه من مياه الأنهار أو الأمطار لتعويض ما يضيع من مياهه بالتبخر من ناحية أخرى . وليس من شك في أن تضاريس الحوض لها كذلك دخل كبير في أحواله المائية إذ أن امتداد الجبال بجوار الساحل في معظم أجزائه قد قلل من فرصة وجود أنهار كبيرة تحمل إليه ما يكفي لتعويض المفقود منه بالتبخر ، ويقدر مجموع ماتلقى به الأنهار التي تصب في البحر المتوسط مباشرة بنحو ٩ر٤ ٪ فقط من المياه التي تضيع منه بالتبخر أما الباقي فيعوض بثلاث وسائل أخرى هي (١) زيادة مايدخل إلى هذا البحر من المحيط الأطلسي عن طريق بوغاز جبل طارق عما يخرج منه من نفس الطريق ، وهذا يعوض ٦ر٧٠ ٪ من مجموع المياه المتبخرة ، (٢) الأمطار وغيرها من مظاهر التكثف وهذه تعوض ٣ر٢١ ٪ . (٣) زيادة ما يدخل البحر المتوسط من البحر الأسود عن طريق بوغازى البوسفور والدردنيل عما يخرج منه إلى نفس البحر ، وهذا يعوض ٢ر٣ ٪ من قيمة المياه المتبخرة .

ومن هذا تتبين بوضوح أهمية بوغاز جبل طارق الضيق بالنسبة لمياه البحر المتوسط ، إذ لولا المياه التي تصل عن طريقه إلى هذا البحر لجف بسبب كثرة التبخر ، كما أنه لولا ضيق هذا البوغاز وضحولته بسبب وجود عتبة



شكل (٦٢) حركة المياه على العتبة الصخرية التي تفصل المحيط الاطلسي عن البحر المتوسط

صخرية عند مدخله لا يزيد ارتفاع الماء فوقها عن ٤٠٠ متر لاختلطت مياهه بمياه المحيط الأطلسي ولما عادت لها صفاتها الأولى التي تتميز بها .

وقد ترتب على وصول المياه السطحية إلى البحر المتوسط من الغرب ومن الشرق تكون دورة عامة تتحرك بمقتضاها المياه السطحية لهذا البحر في اتجاه مضاد لحركة عقرب الساعة ، حيث تتحرك من الشرق إلى الغرب أمام سواحله الشمالية ، ومن الغرب إلى الشرق أمام سواحله الجنوبية ، ولو أنها تتأثر في حركتها بشكل السواحل ، ففي جنوب أوروبا مثلا نلاحظ أن التيار يتحرك من الجنوب إلى الشمال أمام السواحل الغربية لأشباه الجزر ومن الشمال إلى الجنوب أمام سواحلها الشرقية ، كما هي الحال أمام سواحل إيطاليا وأسبانيا.

وقد كان لهذه التيارات السطحية أثر في نشأة الموانى المهمة القريبة من مصبات الأنهار ، حيث نلاحظ أن هذه الموانى تنشأ دائما في الجهة التي لا تتأثر

بالرواسب التي يجلبها النهر ويحملها التيار البحري ، وهذا هو السبب في نشأة سالونيكا إلى الشرق من مصب الواردار ، والبندقية إلى الشمال من مصب نهر البو ، ومرسيليا إلى الشرق من مصب الرون ، وأوديسه في شمال شرق دلتا الدانوب . وليس من شك في أن حركة التيارات أمام الساحل الشمالي لمصر من الغرب إلى الشرق قد ساعد على حماية ميناء الاسكندرية من الرواسب الطينية التي تحملها مياه نهر النيل والتي يلقي بها في البحر خصوصا في موسم الفيضان .

أما التيار الداخلي الذي يتحرك على عمق يتراوح بين ١٠٠ و ٥٠٠ مترا ليتجه نحو بوغاز جبل طارق في معظم أجزاء البحر ما عدا بحر إيجه حيث يتحرك نحو البحر الأسود .

وحركة المياه في بوغاز جبل طارق تسير في اتجاهين متضادين ، فهناك تيار سطحي قوي يندفع من المحيط إلى البحر المتوسط بسرعة تبلغ حوالي عدة كيلو مترات في الساعة ويتراوح عمقه بين ٥٠ و ١٠٠ متر من سطح الماء ، ويقابل هذا التيار السطحي تيار آخر سفلي يتحرك على عمق يتراوح بين ١٠٠ و ٢٠٠ متر وتنحدر بواسطته مياه البحر المتوسط ذات الكثافة والملوحة المرتفعتين على حافة العتبة الصخرية نحو قاع المحيط ، ويواصل التيار السطحي الذي يحمل مياه المحيط الاطلسي ذات الكثافة والملوحة المنخفضتين نسبيا حركته نحو الشرق أمام الساحل الشمالي لافريقية حتى الساحل الشمالي لمصر ، إلا أن سرعته تتناقص تدريجيا كلما اتجهنا شرقا . أما التيار السفلي ، الذي يخرج من البحر المتوسط فتنتشر مياهه الكثيفة على قاع المحيط في اتجاهات مختلفة أمكن تتبعها لمسافات طويلة أمام ساحل البرتغال وساحل المغرب بل وفي عرض المحيط . والمياه التي تتغذى هذا التيار السفلي تشمل الطبقة التي يتراوح عمقها بين ٣٠٠ و ٥٠٠ متر في معظم أجزاء البحر المتوسط حيث

يلاحظ أن هذه الطبقة تتحرك بصفة عامة نحو الغرب ، أما الطبقات الأعمق من ذلك فلا تتأثر تأثرا ظاهرا بهذه الحركة ، ويرجع ذلك إلى تأثير بوغاز جبل طارق الذي أشرنا إليه .

ومن الممكن أن نلاحظ نفس حركة المياه كذلك في البوغاز الذي يفصل جزيرة صقلية من تونس ، فهنا يوجد تياران أحدهما سطحي يتجه نحو الشرق والثاني سفلي يتجه نحو الغرب ، ولكنهما أضعف بكثير من تيارى بوغاز جبل طارق

وفي الطرف الشمالي الشرقي للبحر المتوسط يوجد تياران آخران في بوغازى البسفور والدردنيل ، أحدهما سطحي يتحرك من البحر الأسود إلى البحر المتوسط والثاني سفلي يتحرك في الاتجاه المضاد ، وهذان التياران لا يبلغان كذلك من القوة مبلغ تيارى بوغاز جبل طارق .

أثر التيارات البحرية في المناخ :

أولا — أثرها في درجة الحرارة : من التوزيع السابق للتيارات البحرية في المحيطات المختلفة يمكننا أن نلاحظ ظاهرتين هامتين هما :

١ — في نطاق الرياح التجارية (على وجه الاجمال) توجد تيارات باردة بجوار السواحل الغربية للقارات بينما توجد تيارات دافئة أو حارة بجوار سواحلها الشرقية .

٢ — في نطاق الرياح العكسية (الغربية) تنقلب الآية، فبينما تتأثر السواحل الغربية للقارات ببعض التيارات الدافئة نجد أن سواحلها الشرقية تتأثر ببعض التيارات الباردة . وينطبق هذا بصفة خاصة على نصف الكرة الشمالي بسبب اتساع اليابس ومعظم امتداده في العروض العليا .

ولما كانت التيارات الدافئة تسيل دائماً على تدفئة السواحل التي تمر بها بينما تعمل التيارات الباردة على برودتها ، فقد ترتب على الظاهرتين السابقتين أن انخفضت درجة حرارة السواحل الشرقية للقارات عن درجة حرارة سواحلها الغربية التي تقع في نفس العروض، ويظهر هذا بوضوح عند مقارنة السواحل المقابلة في القارة الواحدة أو السواحل المشرفة على محيط واحد في القارات المختلفة ، وقد سبق أن أشرنا إلى هـــذه الحقيقة عند الكلام على خطوط الحرارة المتساوية .

فإذا قارنا مثـلا بين أثر التيارات البحرية على حرارة الســواحل الشرقية للمحيط الاطلسي وأثرهـا على حرارة الســـواحل الغربية لنفس المحيط نلاحظ ما يأتي :

أولا — أن السواحل الغربية لافريقيـة وشبه جزيرة إيبريا أقل حرارة من السواحل المقابلة لها في شرق الأمريكتين ، وذلك لمرور تيارى الـكناريا وبنجويلا الباردين أمام الســواحل الأولى ، وتيارى الخليــج والبرازيل الدافئين أمام السواحل الثانية ، فبينما يبلغ المعدل السنوى لدرجة الحرارة في داكار « Dakar » على ساحل السنغال حوالى ٢٤°م نجـد أنه في فيرا كروز « Vera Cruz » على الساحل الشرقى للمكسيك يبلغ حوالى ٢٥٫٣° وذلك على الرغم من أن الثانية أبعـد من الأولى عن خط الاسـتواء بحوالى ٤ درجات عرضيـة ، وكذلك في بنانا « Banana » الواقعة عند مصب نهر الكونغو يبلغ المعدل السنوى ٢٠° مقابل ٢٠٫٦° في برنامبوكو « Pernambuco » على الساحل الشرقى للبرازيل . ويبدو هذه الاختلافات أوضح ما تكون في فصل الشتاء ، ففى شهر يناير مثلا يكون معدل الحرارة في داكار ٢٠°م مقابل ٢٢°

في فيراكروز ، أما في بنانا فيكون ٢٢°ر مقابل ٢٤° في برنامبوكو (١) .

ويلاحظ أن الفرق بين الساحلين الشرقي والغربي للمحيط الأطلسي يتناقص تدريجيا كلما ابتعدنا من خط الاستواء نحو الشمال حتى يختفي تقريبا حوالي خط عرض ٣٠° شمالا ، وهنا نجد أن خطوط الحرارة المتساوية تقطع الساحلين عند خطوط عرض متقاربة جدا .

ثانيا — إلى الشمال من خط عرض ٤٥° تنعكس الحالة تماما ، حيث نجد أن السواحل الغربية لأوروبا أدفأ بكثير من السواحل الشرقية لكندا والولايات المتحدة ، ويرجع ذلك إلى تأثير تيار الخليج الدافىء وفروعه على السواحل الأولى ، وتأثير تيار لبرادور البارد على السواحل الثانية ، وهذا هو السر في أن خطوط الحرارة المتساوية تتجه في هذه العروض (على شمال المحيط الأطلسي) ما بين الشمال الشرقي والجنوب الغربي ، ويبدأ الفرق بين الساحلين في الظهور إلى الشمال من خط عرض ٣٠° ويتزايد تدريجيا كلما اتجهنا شمالا ، ويكون هذا الفرق كبيرا جدا خاصة في فصل الشتاء ، ويتبين ذلك من الجدول رقم (٤) الذي يبين معدلات درجة الحرارة لشهر يناير والمعدلات السنوية في بعض البلاد التي تقع على جانبي المحيط ، وتتفق في خط العرض تقريبا .

وقد ترتب على دفء الجانب الشرقي من المحيط الاطلسي الشمالي عدة نتائج ، أهمها : أولا ، أن المياه أمام الساحل الشمالي الغربي لأوروبا لا تتجمد في أي شهر من شهور السنة في أي مكان إلى الجنوب من خط عرض ٧٠° شمالا ،

(١) خطا عرض داكار وفيراكروز هما ٣٩َ ١٤° و ١١َ ١٩° شمالا على الترتيب ، أما خطا عرض بنانا وبرنامبوكو فهما ٦° و ٨° جنوبا على الترتيب .

جدول (٤) معدل درجة حرارة شهر يناير والمعدل السنوى فى بعض البلاد المتقابلة على الساحلين الشرقى والغربى لشمال المحيط الأطلسى .

البلدة	خط العرض (شمالا)	معدل درجة الحرارة (مئوية) يناير	معدل درجة الحرارة (مئوية) السنة
لشبونة (البرتغال)	٣٨° ٤٢َ	٩،٦	١٥،٠
واشنطن	٣٨° ٥٣َ	٠،٥	١٢،٦
	الفرق	٩،١	٢،٧
أبورتو Oporto (البرتغال)	٤١° ٧َ	٨،٣	١٤،٤
نيويورك	٤١° ٦َ	١ –	١١
	الفرق	٩،٣	٣،٤
برست (فرنسا)	٤٨° ٣٣َ	٦،٦	١٢
سان جونس St. Johns (الولايات المتحدة)	٤٥° ١٩َ	١،٢	٦،٧
	الفرق	٥،٤	٥،[illegible]
جلاسجو	٥٥° ٥١َ	٣،٩	٨،٥
نين Nain (لبرادور)	٥٦° ٢٥َ	١٣،٨	٥،٢
	الفرق	٩،٩	٣،٣

بينما تتجمد مياه الساحل الشمالى الشرقى لأمريكا فى فصل الشتاء حتى خط عرض ٥٠° شمالا ، وتتجمد معها مياه نهر سانت لورانس ، مما يؤدى إلى توقف الملاحة تماما فى هذا الفصل ، بخلاف الحال أمام الساحل النرويجى الذى يظل مفتوحا للملاحة طول السنة . وفضلا عن ذلك فإن جبال الجليد الطافية قد تستمر فى تحركها جنوبيا بالقرب من الساحل الشرقى لأمريكا حتى خط عرض ٤٠° شمالا ، بينما يندر أن نشاهد بالقرب من الساحل الشمالى

الغربي لأوروبا إلى الجنوب من خط عرض ٧٠° . وكذلك فيما يختص بخط الثلج الدائم ، فنلاحظ أنه يقع دائما إلى الشمال من خط عرض ٨٠° شمالا أمام الساحل الشمالي الغربي لأوروبا . في حين أنه يصل إلى خط عرض ٦٠° أمام الساحل الشمالي الشرقي لأمريكا الشمالية .

ثانيا - نظرا لأن السواحل الشرقية للمحيط الأطلسي (إلى الشمال من خط الاستواء) تتأثر بالتيارات الباردة في العروض الحارة ، وبالتيارات الدافئة في العروض الباردة ، فقد ترتب على ذلك أن أصبح تدرج الحرارة على امتداد هذه السواحل بطيئا جدا ، أما السواحل الغربية فيختلف الحال عليها من ذلك تماما ، لأنها تتأثر بالتيارات الدافئة في العروض الحارة وبالتيارات الباردة في العروض الباردة . ولهذا السبب نجد أن مناخها أكثر تطرفا من مناخ السواحل الشرقيـة ، كما أن التدرج الحراري على امتدادها يكون شديد الانحدار جدا بمعنى أن الانتقال من المناخ الحار إلى المناخ البارد يأتي في مسافة قصيرة ، وقد كان لذلك نتائج اقتصادية هامة ، لأنه أدى إلى تعدد الأنواع المناخية التي تساعد على زراعة غلات متباينة في مسافة قصيرة نسبيا . فعلى طول الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية مثلا نجد أن الحياة النباتية تتدرج في مسافة لا تزيد على ٤٦٠٠ كيلومترا من غلات الأقاليم الحارة في فلوريدا إلى غلات الأقاليم الباردة في لبرادور .

ومثل هذا التدرج السريع يوجد كذلك في شرق آسيا ، ولكنه أقل وضوحا منه في شرق أمريكا الشمالية لأن التيار الياباني الدافيء (كوروشيفو) أضعف أثرا من تيار الخليج ، كما أن تيار كمشتكا البارد أضعف من تيار لبرادور .

ثالثا - أثرها في الرطوبة ومظاهر التكثف : إلى جانب تدفئة السواحل أو تبريدها تؤثر التيارات البحرية كذلك على رطوبة الهواء ، فالرياح التي تمر

على تيارات دافئة تكون أقدر على حمل بخار الماء من الرياح التى تمر على تيارات باردة ، ولهذا فان الأولى تكون سببا فى سقوط أمطار غزيرة على السواحل التى تهب عليها ، خصوصا إذا كانت هناك سلاسل جبلية مرتفعة تعترض طريقها، فلا لاشك فيه أن مرور الرياح الغربية على تيار الخليج قبل وصولها إلى سواحل غرب أوروبا ، وعلى تيار كوروسيفو قبل وصولها إلى سواحل كندا وشمال غرب الولايات المتحدة ، ثم مرور الرياح الموسمية الشمالية الشرقية على تيار شرق استراليا قبل وصولها إلى سواحل كوينزلاند فى شمال شرق استراليا يعتبر من العوامل المهمة التى تؤدى إلى كثرة الأمطار على جميع هذه السواحل

ويختلف الحال عن ذلك تماما بالنسبة للرياح التى تمر على تيارات باردة ، حيث أنها لا تساهم بنصيب يذكر فى أمطار السواحل التى تمر بها ، بل إنها على العكس من ذلك تساعد على جفاف هذه السواحل ، كما هى الحال فى جنوب غرب إفريقية حيث يوجد تيار بنجويلا ، وفى شمالها الغربى حيث يوجد تيار الكناريا ، فقد ساعد هذان التياران الباردان على امتداد صحراء ناميب فى الجنوب والصحراء الكبرى فى الشمال حتى ساحل المحيط الاطلسى ، وتتكرر هذه الظاهرة فى جنوب غرب أمريكا الجنوبية ، حيث تمتد صحراء أتكاما بجوار السواحل التى يمر بها تيار بيرو ، وفى غرب أمريكا الشمالية حيث تمتد صحراء أريزونا بجوار السواحل التى يمر بها تيار كاليفورنيا ، وكذلك فى غرب استراليا حيث تمتد الصحارى الوسطى والغربية حتى ساحل المحيط الهندى الذى يمر بجواره تيار غرب استراليا البارد ، ولكن يجب ألا نفهم من هذا أن جميع هذه الصحارى قد تكونت بسبب التيارات الباردة وحدها ، إذ أن السبب الرئيسى فى وجودها فى غرب القارات هو أن الرياح التجارية الشمالية الشرقية أو الجنوبية الشرقية ، التى تهب عليها فى معظم أيام السنة تكون

شديدة الجفاف لمرورها على مساحات واسعة من اليابس . أما التيارات الباردة فلقد ساعدت فقط على امتدادها حتى ساحل المحيط من جهة ، وعلى زيادة جفافها من جهة أخرى .

ويعتبر الضباب البحرى من أهم مظاهر التكاثف التى تحدث نتيجة لتقابل تيارين أحدهما دافىء والآخــر بارد ، كما يحدث مثلا فى منطقــة التقاء تيار لبرادور البارد بتيار الخليــج الدافىء حول جزيرة نيوفوندلاند ، وفى منطقة التقاء تيار كوريل بتيار كورو-سيفو إلى الشــرق من جزر اليابان ، فى هاتين المنطقتين يتكون ضباب كثيف جدا نتيجــة لتكاثف بخار الماء الذى يحمــله الهواء الدافىء عند مروره على سطح التيار البارد .

الاهمية الجغرافية للتيارات البحرية :

تظهر أهمية التيارات البحرية فى كثير من النواحى الطبيعية والبشرية للمناطق التى تتأثر بها مثل المناخ وأشكال الســواحل ومظــاهرها الجيومورفولوجية ، وحياة الإنســان ومظاهر نشاطه التى لها صلة بالبحر . ولا يتسع المجال الآن لدراســة كل آثار التيارات البحرية فى كل هــذه النواحى ولذلك سنكتفى بتلخيص أهم هذه الآثار فيما يلى :

(١) تقوم التيارات البحرية بعمليــات توزيــع وموازنة حرارية مستمرة بين المناطق التى تتأثر بها ، فالتيارات الحارة تقوم بنقل الحرارة التى تكتسبها ميــاه البحار من أشعة الشمس فى الاقاليم المدارية وشبه المدارية إلى الاقاليم التى تقل نصيبها من هذه الأشعة ، كما تقوم التيارات الباردة من ناحية أخرى بنقل المياه الباردة من الاقاليم القطبيــة إلى الاقاليم الدافئة نسبياً فتعمل على خفض درجة حرارة مياهها . ويبدو أثر التيارات البحرية واضحا على مناخ السواحل التى تمر بها إذا نظرنا مثلا إلى خريطة خطوط الحرارة المتساوية على

المحيط الأطلسي ، حيث نلاحظ بوضوح كيف أن تيار الخليج الدافىء قد ساعد على تدفئة سواحل النرويج بينما أدى تيار لبرادور البارد إلى زيادة برودة السواحل المقابلة لها في أمريكا الشمالية . ولذلك فبينما تتوقف الملاحة في بعض أشهر الشتاء أمام معظم شواطىء كندا الشرقية فان سواحل النرويج المطلة على المحيط الأطلسي تظل كلها مفتوحة للملاحة طول السنة ، بل إن سواحلها الشمالية المطلة على البحر المتجمد الشمالي تكون مفتوحة كذلك للملاحة خلال أشهر الصيف .

(٢) إن مرور التيارات الدافئة بجوار بعض السواحل يساعد على زيادة بخار الماء في هوائها فاذا توافرت أي ظروف مساعدة على حدوث التكثف فان هذا التكثف يحدث بكثرة وبصور مختلفة أهمها الضباب والأمطار على حسب ما تسمح به الظروف ، بينما يحدث العكس على السواحل التي تمر بها تيارات باردة حيث أن هواءها لا يستطيع حمل كميات كبيرة من البخار ولا يكون هناك بالتالي مجال لكثرة مظاهر التكثف . ويعتبر هذا العامل واحداً من الأسباب التي ساعدت على امتداد بعض الصحاري وخصوصاً الصحاري المدارية الواقعة في غرب القارات حتى سواحل المحيطات ومن أهمها الصحراء الكبرى وصحراء ناميب وصحاري غرب استراليا وصحراء شيلي وصحراء كاليفورنيا وكلها تمر بها تيارات باردة .

(٣) وكما أن التيارات البحرية تقوم بعمليات توزيع وموازنة حرارية بين مياه الاقاليم المختلفة فانها تعمل كذلك على تقليل الفروق بين ملوحة البحار المتجاورة وكثافة مياهها ، حيث تنتقل المياه الكثيفة ذات الملوحة العالية بشكل تيارات سفلية إلى البحار الأقل ملوحة وكثافة بينما تنتقل المياه من البحار الأقل ملوحة وكثافة بشكل تيارات سطحية في اتجاه عكسي ، وهذا هو ما يحدث

مثلا بين البحر المتوسط (ذو الملوحة العالية نسبيا) والمحيط الأطلسي الأقل منه ملوحة ، وما يحدث كذلك بين البحر الأحمر والمحيط الهندى .

(٤) عندما تلتقى التيارات الدافئة بالتيارات الباردة أمام بعض السواحل فإنها تؤدى إلى تكوين ضباب كثيف ، كما هى الحال فى شمال شرق الولايات المتحدة حول جزيرة نيوفوندلاند حيث يلتقى تيار لبرادور البارد بتيار الخليج الدافىء ، وفى مثل هذه المناطق تتجمع الأسماك ، ولذلك فإنها تعتبر مناطق مهمة للصيد .

(٥) تساهم التيارات البحرية كذلك فى تشكيل السواحل التى تمر بها ، حيث أنها تقوم بنقل الرواسب التى قد تحملها الأنهار والرياح من اليابس إلى البحر أو التى تتفتت بفعل التجوية أو بفعل الأمواج وترسبها فى الأماكن التى تهدأ فيها حركة الماء . والمعتاد هو أن تنتقل الرواسب من أمام السواحل البارزة وتترسب فى الخلجان أو أمام السواحل المتقهقرة التى تهدأ فيها حركة الماء .

وهذه العمليات لها علاقة بإنشاء الموانى على السواحل التى تمر بها التيارات البحرية حيث تنشأ هذه الموانى عادة فى الأماكن التى يقل فيها الارساب ، ففى شمال مصر مثلا نشأت ميناء الاسكندرية إلى الغرب من مصب نهر النيل حيث أن التيار البحرى يمر بساحل مصر الشمالى من الغرب إلى الشرق ، فلو أنشئت الميناء إلى الشرق من مصب النهر لتعرضت باستمرار لإرساب المواد الطينية التى يأتى بها إلى البحر . ومثل هذا يقال عن ميناء ليون التى نشأت على الساحل الجنوبى لفرنسا إلى الشرق من مصب نهر الرون ، حيث أن التيار الذى يمر أمام هذا الساحل يأتى من الشرق .

الباب الرابع

العوامل التكتونية (الباطنية)
التي تساهم في تشكيل سطح اليابس

الفصل العاشر ـ الحركات التكتونية البطيئة .

الفصل الحادي عشر ـ الحركات التكتونية المفاجئة (ا) الزلازل .

الفصل الثاني عشر ـ الحركات التكتونية المفاجئة (ب)
الثورانات البركانية .

الفصل العاشر

الحركات التكتونيه البطيئه

TECTONIC MOVEMENTS

تمهيد عام : عوامل تشكيل سطح اليابس :

تنقسم العوامل التي تتدخل في تشكيل سطح اليابس إلى مجموعتين كبيرتين هما :

أولا : عوامل تكتونيـــة Tectonic (أو باطنية) مرتبطة بحركات باطن الأرض . وهي تؤدي إلى حدوث حركات متباينة في القشرة . وتؤدي هذه الحركات بدورها إلى خلق أشكال تضاريسية مختلفة . وهي تنقسم إلى نوعين كبيرين هما :

أ ـ حركات بطيئة لا تظهر نتائجهـا إلا بمرور مئات الآلاف من السنين وقد حدثت كلها تقريبا خلال العصور الجيولوجية المختلفة ولم تعد تظهر لها في الوقت الحاضر إلا آثارا محدودة في أماكن قليلة ، وهذه الحركات هي المسئولة عن نشأة معظم المظاهر التضاريسية الكبرى التي تتكون منها تضاريس المرتبة الأولى (المحيطات والقارات) ومعظم تضاريس المرتبة الثانية وأهمها النطاقات الجبلية والهضاب الكبرى الموجودة في القارات المختلفة . وهناك نوعان من هذه الحركات أحدهما عبارة عن حركات رأسية تأثرت بها مناطق شاسعة، وترتب عليها ظهور مناطق واسعة من قيعان البحار وتحولهـا إلى أراض متسعـة أو هبوط مناطق واسعة من اليابس وتحولها إلى محيطات أو بحار كبيرة ويطلق على هـذا النوع من الحركات اسم الحـــركات البانية للقارات Continent building movements (أو Endogenetic movements) أما النوع الثاني فعبارة عن حركات أفقية يترتب عليها انثناء طبقات القشرة وهذه الحركات

هى التى كونت معظم السلاسل الجبلية الكبرى فى العالم ولذلك فقد أطلق عليها اسم الحركات البانيـة للجبـال Mountain buildidng movements (أو Orogenetic movements .

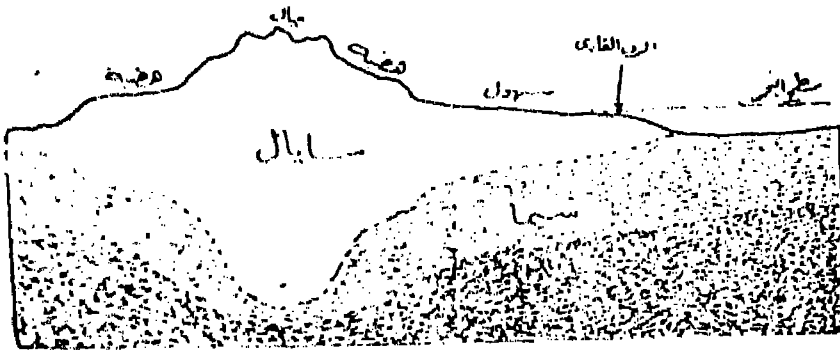
ب ـ حركات سريعة أو مفاجئة وتشمل الحركات الزلزالية أو حركات الهبوط أو الارتفاع التى تصاحبها ، وحركات انزلاق بعض طبقات القشرة على بعضها الآخر ، وقد تكون هـذه الحركات سببا فى حدوث الزلازل أو تكون نتيجة من نتائجها . وتعتبر الثورانات البركانية كذلك نوعا من أنواع الحركات الأرضية المفاجئة .

ثانيا : عوامل خارجية ليست لها علاقة بباطن الأرض أو بحركات القشرة ولكنها ترتبط بالمظاهر التى تحدث فى الأغلفة الظاهرية للكرة الأرضية وأهمها الغلاف الجوى والغلاف المائى والغلاف الحيوى . وهـــذه العوامل كثيرة ومتنوعة ولكنها تنحصر فى مجموعتين رئيسيتين هما : عوامل التجوية Weathering التى تقوم بتفكيك الصخور وتفتيتها ، ثم عوامل التعرية Denudation (أو Erosion) التى تقوم بعمليات مختلفة تؤدى إلى النحت والهدم فى بعض المناطق وإلى الارساب والبناء فى مناطق أخرى . وأهم هذه العوامل هى الرياح والمياه الجارية ومياه البحار والجليد ، وسنتكلم عليها فى فصول قادمة .

توازن قشرة الارض Isostasy of the Earth's Crust :

فى سنة ١٨٨٩ اقترح الباحث الجيولوجى الأمريكى داتون C.E. Dutton نظريته التى حاول أن يفسر بها الطريقة التى تتوازن بها كتل اليابس المكونة من السايال SIAL فوق طبقة السيما SIMA . وقد اشتهرت هذه النظرية باسم « نظرية التوازن Theory of Isostasy . وقد أدخل هـذا التعبير فى دراسة قشرة الارض بعد أن أثبتت دراسات الزلازل والمغناطيسية أن كتل السايال التى تتكون منها كتل اليابس والتى يبلغ متوسط كثافتها ٢٫٧ تتعمق فى طبقة

السيما التي يبلغ متوسط كثافتها ٣ر٣ إلى أعماق تتناسب طرديا مع أحجامها ، وأن هذا التعمق هو الذي يؤدى إلى بقائها في حالة توازن بنفس الطريقة التي تتوازن بها الأجسام المختلفة التي تطفو فوق سطح السوائل ، فكلما كان الجسم ثقيلا كان الجزء الغاطس منه في السائل كبيرا . ونظراً لأن مواد السيما شديدة الصلابة جداً فان تعمق كتل السايال فيها يحدث ببطء شديد وتستغرق عمليات التوازن في هذه الحالة وقتا طويلا جدا بخلاف ما يحدث عند توازن الأجسام التي تطفو فوق السوائل .



شكل (٦٣) نظرية التوازن

وبناء على نظرية التوازن فان كتل اليابس تتعمق في طبقة السيما إلى أعماق تتناسب مع أحجامها وأوزانها ، ولذلك فان هذا التعمق يكون كبيراً في مناطق الجبال منه في مناطق السهول أو المنخفضات ، وكلما زادت ضخامة الجبال كان تعمقها أكبر . وتكون الأجزاء المتعمقة في السيما بمثابة جذور تحفظ لهذه الجبال أو لكتل اليابس عموما توازنها ، وقد يصل امتداد هذه الجذور إلى حوالى ٤٠ كيلو متراً في السيما . وهذا هو ما يحدث في مناطق الجبال الالتوائية الكبرى في مختلف القارات . أما في المناطق السهلية فان هذا التعمق يكون محدودا جدا بسبب قلة سمك طبقة السيما وصغر وزنها بالنسبة لها في مناطق الجبال .

وعلى أساس هذه النظرية يمكننا أن نتصور ما يحدث إذا استطاعت عوامل التعرية أن تمحو منطقة جبلية وتنقل تكويناتها إلى منطقة أخرى ، إن الذى يحدث فى هذه الحالة هو أن المنطقة التى تراكمت عليها التكوينات تهبط تدريجيا بسبب الثقل الواقع عليها فيزداد تبعا لذلك العمق الذى تصل إليه جذورها فى طبقة السيما بينما يتناقص تعمق جذور المنطقة التى أزيلت تكويناتها فى طبقة السيما بسبب تناقص حجمها ووزنها . ومعنى ذلك أن هناك عمليات توازن مستمرة فى قشرة الأرض ، وأن هذه العمليات مرتبطة بما يطرأ على السطح من تغيرات بسبب عمليات النحت والنقل والارساب أو بسبب أى عوامل أخرى . ومع ذلك فان عمليات التوازن التى تعقب هذه التغيرات تكون غالباً بطيئة جداً بحيث لا تظهر آثارها إلا بمرور آلاف السنين . وذلك بسبب شدة صلابة السيما ، ولهذا فان ظهور نتائج عمليات التوازن يتخلف عن ظهور نتائج النقل والارساب بوقت طويل .

وقد صادفت نظرية التوازن كثيراً من النجاح منذ ظهورها خصوصا وأنها استطاعت أن تقدم تفسيرات معقولة لبعض الظاهرات الطبيعية التى كان من الصعب تفسيرها قبل ذلك ومن أمثلتها ما يأتى : —

١) أن الأبحاث الجيولوجية وعمليات مسح الأراضى فى المناطق الجبلية أوضحت أن قوة جذب الجبال للثقل المغناطيسى أقل مما كان مقدراً لها (حتى مع الأخذ بعين الاعتبار أن السايال التى تتكون منها الجبال قليلة الكثافة وقليلة الجاذبية نسبياً) ، فالمعروف أن الثقل المغناطيسى يتأثر فى المناطق الجبلية بقوتين إحداهما هى قوة الجاذبية الأرضية التى تجذبه رأسيا والثانية هى قوة جذب الجبال التى تشده أفقيا ، فينحرف عن الاتجاه الرأسى بزاوية كان المفروض أن تكون متناسبة مع حجم الجبال . ولم يكن من السهل ، قبل ظهور نظرية التوازن ، معرفة السبب فى صغر زاوية الانحراف عما كان

مقدراً ، أما بعد ظهور هذه النظرية فقد أمكن تفسير هذه الظاهرة على أساس أن كتل السئيال التي تتكون منها الجبال لا تقتصر على الجزء الذي يظهر منها على السطح بل إنها تشمل كذلك الجذور التي تتعمق في السيما والتي تؤدي، بسبب قلة كثافتها نسبيا ، إلى تقليل الجاذبية الأفقية عما كان يمكن أن يحدث لو أن السيما كانت ممتدة بدون انقطاع تحت الجبال حتى السطح .

٢) أن أقدم الطبقات الرسوبية التي تتكون منها دلتاوات بعض الأنهار مثل نهر المسيسبي ونهر النيل قد وجدت على أعماق كبيرة جدا بحيث يصعب التصور بأنها أرسبت فيها ولكن من الممكن تفسير ذلك على أساس نظرية التوازن، بأن التراكم المستمر للرواسب هو الذي أدى بمرور الزمن إلى تزايد الثقل الواقع على الطبقات القديمة وإلى هبوطها بالتدريج إلى مستوى أدنى من المستويات التي أرسبت فيها في المراحل الأولى لتكون الدلتا .

انثناءات القشرة الأرضية

Folds of the Earth's Crust

أسبابها:

المقصود بإنثناء (Folding) القشرة هو تقوسها إلى أعلى أو إلى أسفل نتيجة لتعرضها لضغوط جانبية ، ويحدث الإنثناء عادة في طبقات الصخور الرسوبية بسبب مرونتها النسبية التي تسمح لها بالإنثناء ، وخصوصا إذا كانت حديثة التكوين ، أما الصخور النارية والمتحولة فان شدة صلابتها لا تسمح لها بالانثناء إلا بدرجة محدودة ولذلك فانها غالبا ما تتصدع إذا تعرضت لضغوط شديدة وقد يحدث الانثناء في الطبقات الصخرية إما نتيجة لتعرضها لضغط جانبي من اتجاهين متضادين أو نتيجة لتعرضها لضغط جانبي من اتجاه واحد بينما تقف في طريقها من الجانب المقابل كتلة صلبة قديمة لا تسمح لها بالتزحزح أمام الضغط الجانبي . وعندما تنثني الطبقات

الصخرية فان قطاعات منها تتقوس إلى أسفل وتتكون منها ثنيات(1) مقعرة Synclines بينما تتقوس قطاعات أخرى إلى أعلى وتتكون منها ثنيات محدبة Anticlines . ولكل ثنية من الانثناءات محـور Axis ومستوى محورى Axial plane وجانبان (أو طرفان) Limbs والمقصود بالمحور هو الخط الذي يمتد على طول قمة الثنية المحدبة أو على طول قاع الثنية المقعرة ، أما المستوى المحورى فهو المستوى الذى ينصف الزاوية التى بين جانبي الثنية (شكل ٦٤) .

وتأخذ الثنيات أشكالا مختلفة على حسب قوة الضغط واتجاهـه وسمك الطبقات ونظامها وقوة مقاومتها وتباين هذه المقاومة من طبقة إلى أخرى أو من موضع إلى آخر ، ولذلك فقد قسمت الثنيات عموما إلى عـدة أنواع أهمها هى :

١) الثنية البسيطة المتماثلة Simple or Symetrical fold ، وفيها تكون زاويتا ميل الطبقات على جانبيها متساويتين ، كما تظل طبقاتها محافظـة على نظامها الأصلى .

٢) الثنية البسيطة غير المتماثلة Asymetrical fold ، وهى ثنيـــة بسيطة كذلك إلا أن زاوية ميل أحد جانبيها تكون أكـبر نوعا ما من زاوية ميل الجانب الآخر .

٣) الثنيه وحيدة الجانب Monocline ، وهى ثنية يشتد ميل الطبقـات فى جانب واحد من جانبيها بينما تظل الطبقات أفقية تقريبـا أو مائلة ميلا غير واضح فى جانبها الآخر .

---

(1) يطلق بعض الكتاب العرب على الثنية لفظ طية أو التواء وكلها ألفاظ ذات مدلول واحد ، وقد رأينا أن اللفظ الأول « ثنيه » هو أقرب الالفاظ الثلاثه الى وصف ما يحدث فعلا فى الطبقات الصخريه

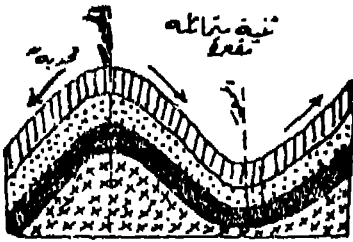
٤) الثنية المقلوبة Overturned fold ، وفيها يشتد ميل طبقات أحـــد الجانبين بحيث تزيد زاوية هذا الميل من ٩٠° .

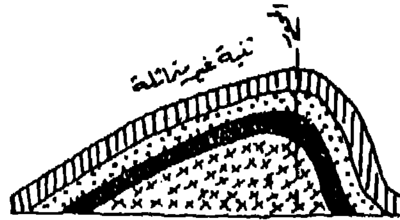
٥) الثنية المستلقية (أو المضطجعة) Recumbent fold ، وفيها يستلقي أحد الجانبين على سطح الأرض تماما بحيث يختفي تحت الجانب الآخر . وفي هذه الحالة يختل ترتيب الطبقات في الجانب الأسفل بحيث تقع الطبقات الحديثـة تحت الطبقات الأقدم منها .

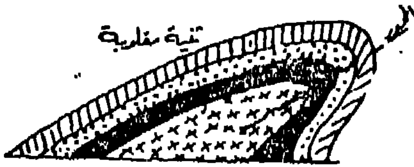
٦) الثنية الزاحفة (ناب Nappe) (أو الغطـاء الصخري الزاحف) ، وهو عبارة عن الجانب العلوي من ثنية مستلقية اضطره الضغط الجانبي الشديد إلى الانفصال عن بقية الثنية والزحزح بعيدا عنها ، حيث تؤدي زيادة الضغط الجانبي إلى تصدع الثنية عند محورها وفصل جانبها الأعلى عن جانبهـا الأسفل . وكلمة « Nappe » كلمة فرنسية معناها غطاء . وسنعود للإشارة إلى هذه الظاهرة مرة أخرى عند الكلام على الصدوع .

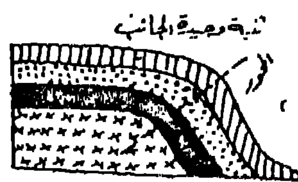
٧) الثنية المركبة Composite fold ، وهي ثنيـة كبرى تضم بداخلهـا ثنيات صغيرة نسبيا ، وهي تتكون عندما تتعرض منطقة شاسعة سبق أن تكونت بها مجموعة من الثنيات للانثناء مرة أخرى ، وقد تشغـل الثنية التي من هذا النوع عدة آلاف من الكيلو مترات المربعة ولذلك فإنهـا تشتهر باسم الثنيات الكبرى أو الاقليمية ، ومنها ما تكون محدبة Geoanticline ومنهـا ما تكون مقعرة Geosyncline . وقد تكونت بعض البحار الكبيرة ومنهـا البحر المتوسط في ثنية مقعرة من هذا النوع وقد تأخذ الثنية المركبة المحدبة في بعض الأحيان شكلا مروحيا واضحا (أنظر شكل ٦٤) .

٨) الثنية المنحدرة Pitching fold وفيها لا يكون محور الثنيـة أفقيا بل يكون مائلا على الاتجاه الأفقي سواء من ناحية واحدة أو من ناحيتين ، ويطلق على الزاوية التي يصنعها المحور مع الاتجاه الأفقي اسم زاوية الانحدار .

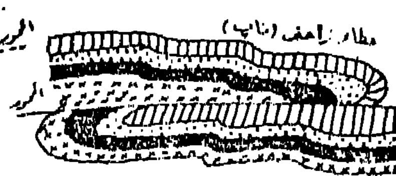


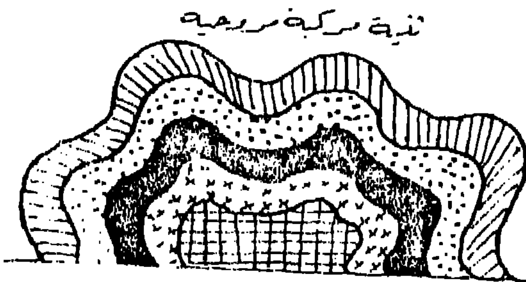


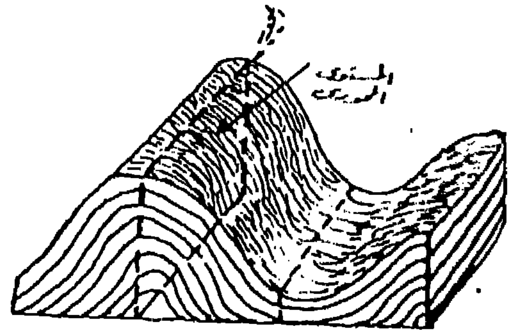




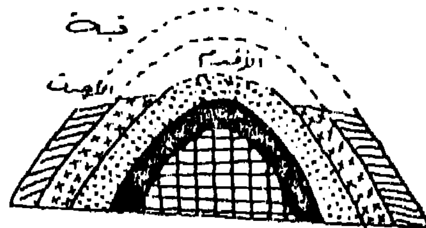












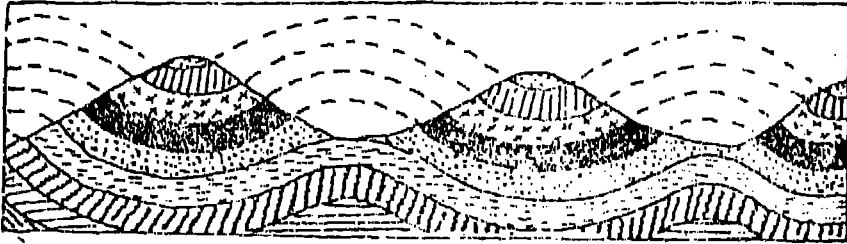
شكل (٦٤) أهم أشكال الثنيات

٩) القبة Dome والحوض Basin ، وهما تركيبان جيولوجيان يمثل الأول منها ثنية محدبة بينما يمثل الثاني ثنية مقعرة. وهما يشتركان في أن طبقات الصخور تكون مرتبة في كل منهما بشكل حلقات حول المركز ، ولكن مع فارق رئيسي وهو أنه لو أخذ قطاع أفقي في كل منهما ، أو إذا أزالت التعرية أعالي كل منهما فإن مكاشف أحدث الطبقات في القبة تكون موجودة على الأطراف وتليها الاقدم فالاقدم كلما اتجهنا نحو الوسط الذي توجد به أقدم الطبقات ، ويطلق على هذا التتابع في علم الطبقات تعبير « قديث Inlier » أما في الحوض فان ترتيب مكاشف الطبقات يكون على العكس من ذلك بمعنى أن مكاشف أقدم الطبقات توجد على الاطراف وأحدثها في الوسط ، ويطلق على هذا التتابع تعبير « حديم Outlier » .

تغير معالم الثنيات وانعكاس التضاريس :

بمجرد ظهور الثنيات أياكان نوعها على سطح الارض فان عوامل التجوية وعوامل التعرية، وخصوصا المياه الجارية والجليد والرياح تتعاون على تسوية سطحها بالتدريج ، حيث أنها تعمل باستمرار على نحت وتفتيت الاجزاء الظاهرة من الثنيات المحدبة ونقل موادها إلى الثنيات المقعرة فيأخذ سطح الاولى في الانخفاض بينما يأخذ سطح الثانية في الارتفاع . وبمرور الزمن يميل سطح المنطقة كلها إلى الاستواء . وتستغرق هذه العمليات عادة أزمنة طويلة جدا قد تصل إلى عشرات الملايين من السنين، وخصوصا إذا كانت الثنيات المحدبة كبيرة الحجم (مثل الثنيات التي تتكون منها الجبال الشاهقة) وكانت صخورها شديدة الصلابة . وحتى بعد أن تتم تسوية سطح المنطقة فان عوامل التعرية قد تستمر في نقل المواد الصخرية من أماكن الثنيات المحدبة وتكويمها في أماكن

الثنيات المقعرة، وينتهي الامر بأن تتحول مناطق الثنيات المحدبة إلى أحواض منخفضة بينما تتحول مناطق الثنيات المقعرة إلى هضاب مرتفعة نسبيا . ويطلق على هذه الظاهرة اسم ظاهرة انعكاس التضاريس Gonversion of relief .
وهي ظاهرة قليلة الحدوث ولا توجد إلا في مناطق الجبال الانثنائية القديمة التي مرت على تكوينها مئات الملايين من السنين ومنها مناطق الجبال الموجودة في شمال غرب أوروبا (أنظر شكل ٦٥) .



شكل (٦٥) انعكاس التضاريس

ولكن مهما حدث من تغير في مظاهر السطح فان الاستدلال على وجود الثنيات المحدبة أو الثنيات المقعرة يظل أمرا ميسورا بواسطة الجيولوجيين الذين يمكنهم أن يحددوا نوع الثنيات على أساس ميل طبقات الصخور وترتيبها الزمني حتى أنه من الممكن إعادة تصوير الشكل الذي كانت عليه الثنيات قبل أن تختفي معالمها الظاهرية .

الحركات الانثنائية الكبرى خلال العصور الجيولوجية :

إن الانثناءات الكبرى التي تعرضت لها قشرة الأرض خلال العصور الجيولوجية المختلفة هي أهم نتائج العوامل التكتونية التي ساهمت في تكوين

الأشكال التضاريسية الكبرى وأهمها الجبال الانثنائية (الالتوائية) التي تشغل نطاقات ضخمة في مختلف القارات . وقد بنيت هذه الجبال على ثلاث مراحل رئيسية تعرضت قشرة الأرض خلالها إلى حركات تكتونية عنيفة لم يقتصر أثرها على حدوث الانثناءات الكبرى بل صاحبها كذلك كثير من النشاط البركاني وكثير من التصدع في بعض المناطق. ونظراً لعنف الحركات التكتونية التي حدثت في هذه المراحل فقد أطلق عليها بعض الباحثين تعبير « الثورات التكتونية » . ولتمييز المراحل الثلاث لهذه الحركات فقد سميت كل منها باسم منطقة من المناطق الجبلية التي تكونت أثناءها في قارة أوروبا ، لأنها هي القارة التي أجريت فيها معظم الأبحاث المتعلقة بنشأة الجبال وتطورها.

وقد حدثت هذه الحركات في ثلاثة أزمنة جيولوجية هي الزمن الأول والزمن الثاني والزمن الثالث ، وكانت تفصل بعضها عن بعض ملايين من السنين . ومعنى ذلك أن الجبال التي كونتها حركات الزمن الأول قد مضى عليها منذ نشأتها حتى الآن أكثر من مائتا مليون سنة . وخلال هذا العمر الطويل لم تتوقف عوامل التجوية أو عوامل التعرية عن إزالتها وتغيير معالمها ولذلك فقد فقدت معظم ارتفاعها وتحولت إلى تلال قليلة الارتفاع أو سهول تحاتية ، بل إن التضاريس قد انعكست في بعض أجزائها . إلا أن بعض هذه المناطق مالبثت أن تعرضت في مراحل تالية لحركات تكتونية أخرى أعادت إليها بعض ارتفاعها . أما الجبال التي نشأت نتيجة لحركات الزمن الثالث فإن عمرها يتراوح بين مليونين وخمس عشرة مليون سنة فقط ، وهو عمر قصير نسبيا ، ولذلك فإن عوامل التعرية لم تجد الوقت الكافي لإزالتها أو حتى التقليل كثيرا من ارتفاعاتها فبقيت لهذا السبب محتفظة بضخامتها وعظم ارتفاعها وأصبحت تمثل في الوقت الحاضر أعظم

النطاقات الجبلية فى العالم ويطلق عليها عموماً اسم «الجبال الانثنائية الحديثة» ، أو «الانثناءات الألبية» أو «الحركات الألبية» نسبة الى جبال الألب التى تنتمى إليها .

والحركات التكتونية الرئيسية التى حدثت فى الأزمنة الجيولوجية المذكورة هى :

أولا - الحركات الكاليدونية Calidonian Movements : وقد سميت بهذا الاسم نسبة الى مرتفعات كاليدونيا فى شمال اسكتلندة ، وقد حدثت معظم هذه الحركات فى أواسط الزمن الجيولوجى الأول وخصوصاً فى العصر السيلورى والعصر الديفونى . وتوجد الجبال التى تكونت بسببها فى معظم القارات وأشهرها هى مرتفعات شمال اسكتلندة وبعض مرتفعات شمال غربى انجلترا وبعض مرتفعات غربى ويلز وشمال أيرلندة ومرتفعات اسكنديناوة وبعض مرتفعات شمال أيرلندا وفى أمريكا الشمالية بدأ بناء مرتفعات الأبلاش بواسطة هذه الحركات ثم اكتمل بواسطة الحركات التالية وهى الحركات الهرسينية . وفى استراليا يظهر هذا النوع من الجبال فى مقاطعة سوث ويلز . وفى امريكا الجنوبية يظهر فى الاطراف الشرقية لهضبة البرازيل - وفى افريقيا يمثله بعض مرتفعات جورارة فى الصحراء الكبرى .

ثانيا - الحركات الهرسينية Hercynian Movements : وقد سميت بالهرسينية نسبة الى مرتفعات الهارتز فى ألمانيا ، حيث أنها تمثلها أحسن تمثيل وهى نفس الحركات التى يطلق عليها فى بريطانيا وغرب فرنسا اسم «الحركات الأرموريكية Armorican M.» أو «الحركات الفارسكية Variscan M.» . وقد حدثت خلال القسم الأعلى من الزمن الجيولوجى الأول ، وخصوصاً فى العصر الفحمى والعصر البرمى ، فهى أحدث من الحركات الكاليدونية ببضع عشرات الملايين من السنين ، وتوجد الجبال التى تكونت بسببها فى معظم القارات الى الجنوب من المرتفعات الكاليدونية ، وهى غالباً أكثر منها ارتفاعاً بسبب حداثتها النسبية من جهة وبسبب تعرضها فى عصور لاحقة لحركات رفع جديدة

من جهة أخرى . وأهم الجبال الت يتنتمى اليها هى جبال جنوب أيرلندة وجنوب ويلز وجنوب غرب انجلترا ، فى اقليم كورنوول ، وجبال غرب اوروبا ووسطها مثل هضبة فرنسا الوسطى وهضبة بوهيميا وجبال السوديت والفوج والغابة السوداء وبعض مرتفعات اسبانيا وخصوصاً الهضبة الانكسارية الوسطى او الميزيتا ومرتفعات بريتى فى شمال غرب فرنسا وجبال اورال . وتمثلها فى اسيا كثير من جبال أرمنيا وبعض جبال آسيا الصغرى وجبال إقليم بيكال وجبال خنجان وتيان وشان وبعض مرتفعات الصين مثل مرتفعات تسن لون ، كما تتمثل فى أرخبيل الملايو وبعض جزر اندونسيا مثل جزيرة جاره وجزيرة بورنيو وفى استراليا تنتمى اليها معظم الجبال الشرقية . وفى أمريكا الشمالية يتكون منها نطاق يمتد فى شرق القارة الى الجنوب من نهر سنت لورانس ، ويشمل معظم مرتفعات الابلاش وفى امريكا الجنوبية يوجد بعضها فى شمال باتاجونيا حيث تمثلها سلاسل سيراكور دوبا وسيرافنتاانا ، كما انها ساهمت فى بناء مرتفعات الابلاش .

ثالثاً - الحركة الألبية Alpian Movements : وهى أحدث الحركات الرئيسية التى تعرضت لها قشرة الارض ، وقد بدأت مقدمتها فى أواخر الزمن الجيولوجى الثانى وبلغت أوجها فى الزمن الثالث ثم استمرت بعض ذيولها فى اوائل الزمن الرابع . ونظراً لحداثتها ولأن الجبال التى نشأت بسببها تمثل أعظم مظاهر التضاريس فى الوقت الحاضر فقد كان اهتمام الباحثين بدراستها اكبر من اهتمامهم بالجبال القديمة وقد تبين انها تتباين فيما بينها تبايناً واضحاً على حسب العصر الذى تكونت فيه ولذلك فإنها تقسم الى ثلاثة أقسام هى الجبال الالبية القديمة التى نشأت فى أواخر الزمن الثانى وأوائل الزمن الثالث والجبال الالبية المتوسطة التى نشأت فى أواسط الزمن الثالث ثم جبال الالبية الحديثة التى نشأت فى أواخر هذا الزمن واستمرت ذيولها فى أوائل الزمن الرابع .

وتوجد الجبال الالبية فى الوقت الحاضر فى نطاقات ضخمة تتفق مع ما يعرف بإسم نطاقات الضعف فى قشرة الارض ، وهى النطاقات التى ظلت حتى وقت

قريب عرضة للحركات التكتونية بل ومازالت حتى الآن معرضة لمثل هذه الحركات ، كما يدل عليها توزيع مناطق البراكين . وقد تكونت الجبال الإلتوائية الحديثة من طبقات الرسوبية الضخمة التى تراكمت بمرور الزمن فى قاع بعض البحار الداخلية القديمة التى كانت تفصل الكتل القارية الصلبة القديمة بعضها عن بعض ومن أهمها بحر تثيس وبحر الروكى . ففى العالم القديم تمتد الانثناءات الالبية بين الشرق والغرب فى نطاق ضخم يبدأ من سواحل المحيط الاطلسى فى غرب اوروبا وشمال افريقية ويشمل جبال اطلس فى افريقيا ، وجبال الالب والسلاسل الجبلية المتصلة بها فى اوروبا ، ويواصل امتداده فى اسيا ليشمل أهم السلاسل الجبلية المرتفعة فى آسيا الصغرى والقوقاز وإيران وأفغانستان وسلاسل جبال هيمالايا وإمتدادها فى برما والملايو وجزر اندونسيا وجزر صوندا وهو يلتقى هنا بنطاق آخر يمتد نحو الشمال فى شرق آسيا وفى الجزر القريبة من سواحلها الشرقية مثل جزر الفلبين وجزر اليابان . وفى العالم الجديد تشغل الإنثناءات الألبية نطاقاً يمتد لبضعة آلاف من الكيلو مترات فى غرب الأمريكتين ويشمل سلاسل جبال روكى وسلاسل جبال الانديز .



شكل (٦٦) توزيع الكتل الصلبة والجبال الانثنائية فى العالم

الصدوع (أو الانكسارات)

FAULTS

ماهيتها وأسبابها :

كثيرا ما تؤدى الحركات الأرضية إلى حدوث صدوع مختلفة الأحجام والاتجاهات فى الصخور بمختلف أنواعها ، ويطلق على هذه الصدوع كذلك تعبير « الانكسارات » أو « العيوب » . ويكون الصدع (أو الانكسار) مصحوبا فى غالب الأحيان بانزلاق فى الطبقات التى توجد على جانبيه بحيث ينقطع امتداد هـذه الطبقات فتظهر الطبقات الصخرية على أحـد جانبيه فى مستويات مختلفة من مستوياتها على الجانب الآخر . وعلى الرغم من أن حركات الانزلاق فى أغلب الصدوع تكون من أعلى إلى أسفل أو العكس إلا أنها قد تكون فى بعض أنواعها فى اتجاه جانبى .

وكما هى الحـال بالنسبة للانثناءات فإن الصدوع بمختلف أنواعها تنشأ نتيجة للحركات التكتونية المختلفة ، سواء منها الحركات البطيئة أو الحركات السريعة والمفاجئة . ويجب ألا نخلط بين الصدوع وبين المفاصل Joints والشقوق Cracks التى توجد بكثرة فى كتل الصخور بمختلف أنواعها والتى تتكون بسبب تقلص الصخور أثنـاء جفافها أو برودتها ثم تساعد عوامل التعرية وعوامل التجوية على توسيعها أو عـلى ملئهـا بالرواسب فى بعض الأحيان . وكثيرا ما تتقاطع المفاصل والشقوق بعضها مع بعض فتؤدى إلى تقسيم الكتلة الصخرية إلى قطع متراصة قد تأخذ أشكالا خاصة كما يحدث فى كثير من الصخور النارية والصخور الرسوبية (راجع شكل ٣١) .

أجزاء الصدع :

تستخدم عند دراسة الصدوع عدة تعبيرات من أهمها :

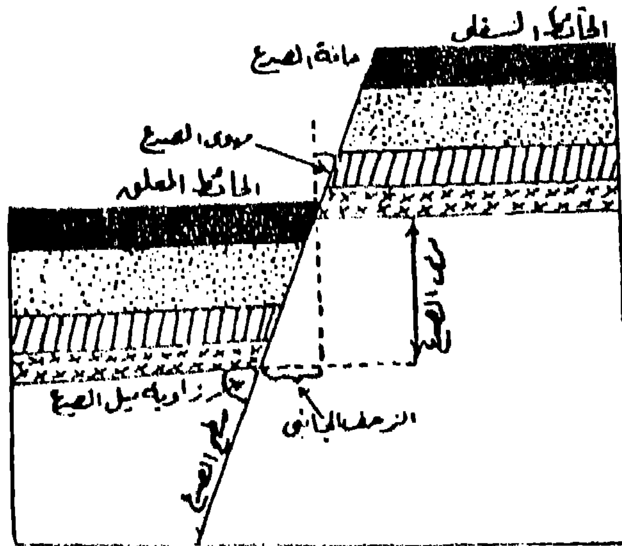
١ — سطح الصدع Plane of Fault ، وهو السطح الذى يحدث فيه الانفصال والذى تنزلق على طوله طبقات الصخور . وعندما يكون هذا السطح مائلا يكون له حائطان أحدهما هو الحائط المعلق Hanging Wall ويقصد به كتلة الصخور الملاصقة لسطحه العلوى والثانى هو الحائط السفلى Foot Wall ويقصد به الكتلة الملاصقة لسطحه السفلى .

٢ — رميه الصدع Throw of Fault — وهى المسافة الرأسية التى تغير بها منسوب الطبقات على جانبى الصدع ، وهى تختلف من بضع سنتيمترات إلى مئات من الأمتار ، ويطلق تعبير الرمية إلى أسفل Downthrow على المسافة التى تحركها أحد الجانبين إلى أسفل ، وتعبير الرمية إلى أعلى Upthrow على المسافة التى تحركها أحد الجانبين إلى أعلى .

٣ — ميل الصدع Dip of Fault ، وهو الزاوية المحصورة بين سطح الصدع والمستوى الأفقى . ويمكن أن يحسب ميل الصدع كذلك على أساس الزاوية المحصورة بين سطحه وبين المستوى الرأسى . ويطلق على هذه الزاوية تعبير Hade of Fault (أو مهوى الصدع) .

٤ — الزحف الجانبى Heave of Fault ، وهو المسافة الأفقية التى زحفتها الطبقات على جانبى الصدع .

٥ — الحافة الصدعية Fault Scarp ، وهى الحافة الصخرية التى تمثل الجزء الظاهر من سطح الصدع .



شكل (٦٧) أجزاء الصدع

أنواع الصدوع :

نظرا لتنوع القوى والعوامل التي تتدخل في عمليات التصدع ، كما سبق أن ذكرنا ، فان الصدوع تأخذ أشكالا مختلفة ، ولذلك فإنها تنقسم إلى عدة أنواع أهمها ما يأتي :

١ ـ الصدع العادي Normal Fault ، وهو أكثر الأنواع وجودا ، وهو يحدث غالبا بسبب الشد العنيف ، ولذلك فانه يعرف أيضا بصدع الشد Tension Fault ويترتب على مثل هذا الصدع اتساع المنطقة المتأثرة به نتيجة لانزلاق حائطه المعلق وحائطه السفلي ويتوقف مقدار هذا الاتساع على أمرين هما مقدار زاوية ميل الصدع ومقدار رميته ، والمعتاد هو أن تكون رمية جانبه المعلق إلى أسفل بينما تكون رمية جانبه السفلي إلى أعلى .

٢ ـ الصدع المعكوس Reverse Fault : وهو يحدث نتيجة لتعرض المنطقة لضغط جانبي شديد ولذلك فانه يعرف كذلك بصدع الضغط

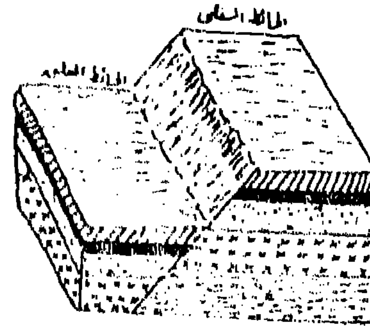
« Compression Fault » ، وفيه تكون رمية الحائط المعلق إلى أعلى بينما تكون رمية الحائط السفلي إلى أسفل ويترتب على ذلك نقص في المسافة الأفقية للمنطقة التي حدث بها الصدع ، وهذا عكس ما ينجم عن الصدع العادي .

٣ ـ الصدوع المتدرجة أو السلمية Step Faults : وهي عبارة عن مجموعة من الصدوع المتوازية التي ترمى كلها في اتجاه واحد وتؤدي إلى ظهور سطح الأرض بشكل درجات ، ويستوى في ذلك إن كانت الصدوع عادية أو معكوسة .

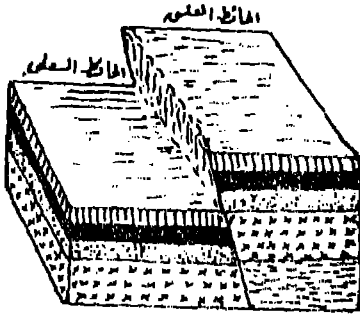
٤ ـ الصدع الزاحف (أو الفالق) Overthrust Fault : وهو يمثل مرحلة تالية للصدع المعكوس، ويحدث نتيجة لتزايد الضغط الجانبي بدرجة تؤدي إلى زحف الحائط المعلق فوق الحائط السفلي ، وفي هـذه الحالة تختفي بعض الطبقات الحديثة تحت طبقات أقدم منها . وقد يحدث الصدع الزاحف كذلك نتيجة لزيادة الضغط الجانبي على إحدى الثنيات المستلقية حيث تؤدي هـذه الزيادة إلى تصدعها ، وإذا استمر تزايد الضغط فقد يؤدي إلى زحف الجانب الأعلى لهذه الثنية وانفصاله تماما عن جانبها الأسفل ، ويتكون من الجانب الزاحف في هذه الحالة ما يعرف باسم « الناب Nappe » أو (الثنية الزاحفة) أو (الغطاء الصخري الزاحف) . وقـد يؤدي استمرار الضغط الجانبي إلى زحف هـذا الغطاء عشرات الكيلو مترات . إلا أن هـذه العملية بطيئة جدا وتستغرق مئات الآلاف من السنين .

ومن الواضح أن « الغطاء الصخري الزاحف » يرتبط في نشأته بحركات الانثناء وحركات التصدع معا وأن القوة الرئيسية التي تسببه هي الضغط الجانبي .

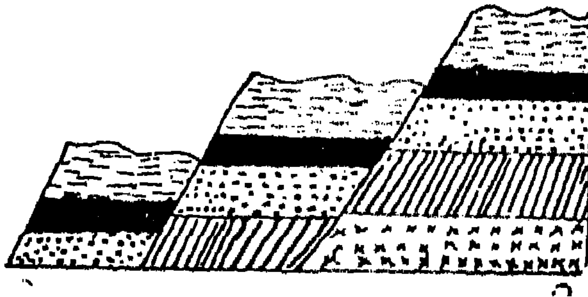
٥ ـ صدوع التمزق Tear Faults : وهي تختلف عن الصدوع العادية والصدوع المعكوسة في أن حركات الزحف فيها لا تكون من أسفل إلى أعلى أو العكس بل تكون غالبا في اتجاه أفقي ، بينما تكون في قليل منها في حركة دائرية . ويحدث الزحف الأفقي عادة نتيجة لتعرض قسمين متجاورين من



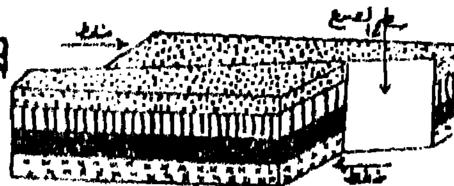
شكل (٦٨) صدع عادى



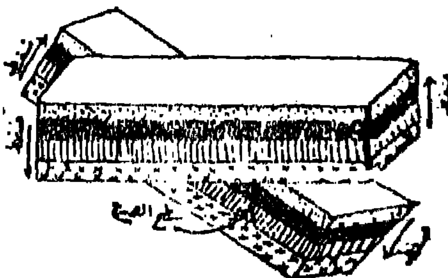
شكل (٦٩) صدع معكوس



شكل (٦٣) صدوع سلمية



شكل (٧١) صدع تمزق



شكل (٧٢) صدع دورانى

التركيب الصخرى لضغوط أفقية من اتجاهين متضادين ، فقد يؤدى ذلك إلى تمزق هذا التركيب وزحف جزء منه زحفا أفقيا فى اتجاه مضاد لزحف جزئه الآخر .

ويعتبر الصدع الذى يحدث فى الثنية المستلقية والذى يؤدي إلى تكوين الغطاء الزاحف ، أو الناب Nappe ، نوعا من الصدوع الزاحفة ،وقد يحدث أن يتصدع الغطاء عند زحفه بحيث يتخلف قسم منه عن بقية الغطاء . ويحدث ذلك إذا ما اعترضت طريق هذا الغطاء قاعدة صلبة لا يستطيع زحزحتها أو كسرها فيتخلف قسمه الأسفل بينما يستمر قسمه الأعلى فى زحفه .

ويعتبر الصدع المعروف باسم الصدع الدورانى Rotational Fault نوعا آخر من صدوع التمزق ، وهو يحدث إذا تحركت الصخور بشكل دائرى حول محور أفقى أو رأسى ، وهذا النوع من التصدع هو الذى يؤدى غالبا إلى حدوث الهزات الزلزالية .

الأهمية الجغرافية للصدوع :.

تظهر الأهمية الجغرافية للصدوع فى كثير من جوانب الدراسات الجغرافية فبالإضافة إلى أنها مظهر مهم من مظاهر سطح الأرض فانها هى المسئولة عن تكوين بعض المظاهر التضاريسية والأشكال الجيومورفولوجية المهمة ، كما أنها تتدخل كذلك فى نظام تصريف المياه السطحية وفى حركة المياه الجوفية وتكوين خزاناتها ، وفى تكوين المصائد البترولية ، وفى إظهار بعض الثروات المعدنية الموجودة فى صخور القشرة ومن الواضح أنها تؤدى كذلك إلى خلق بيئات متنوعة فى مناطق حدوثها . وأنها تتدخل فى توجيه طرق المواصلات وفى توزيع مراكز العمران وغير ذلك من مظاهر النشاط البشرى، وفيما يلى شرح موجز لأهميتها فى بعض النواحى الجغرافية المذكورة .

أ) أهميتها في تشكيل سطح الأرض :

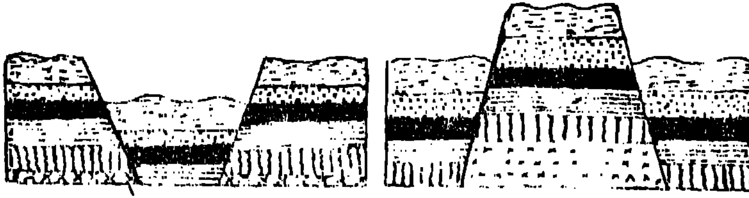
إن الصدوع في حد ذاتها تعتبر مظاهر فيزيوغرافية مهمة ، وهي تأخذ كما سبق أن بينا أشكالا متباينة ، وبالاضافة إلى ذلك فإنها هي المسئولة عن تكوين بعض المظاهر التضاريسية المعروفة ومن أهمها :

١ ـ الوديان الصدعية (أو الانكسارية) Rift Valleys أو Graben [1] ، وهي تتكون نتيجة لحدوث صدعين متوازيين (أو أكثر) وهبوط الأرض بينها ، وقد يحدث في نفس الوقت ارتفاع في الأرض الموجودة على جوانبهما الخارجية وأشهر الوديان الصدعية في العالم هو الوادي الصدعي الافريقي العظيم African Great Rift Valley ، ويبلغ طوله أكثر من ستة آلاف كيلومتر ، وهو يبدأ من بحيرة مالاوي (نياسا) في شرق القارة ويتجه شمالا حيث يتفرع في هضبة البحيرات إلى فرعين أحدهما غربي وتقع فيه بحيرة تنجانيقا المتصلة بنهر الكنغو ، وبحيرتا إدوارد وألبرت المتصلتان بنهر النيل ، والآخر شرقي وتقع فيه بحيرة رودولف وسلسلة من البحيرات الأخرى الصغيرة . ويواصل هذا الفرع امتداده شمالا ليضم خليج عدن والبحر الأحمر وخليج العقبة والبحر الميت وغور الأردن وينتهي في سهل الغور بجنوب سوريا . ويعتبر وادي نهر الراين بين مرتفعات الفوج والغابة السوداء مثالا واضحا كذلك للوديان الصدعية .

٢ ـ الهضاب الصدعية Horsts : وهي تنشأ نتيجة لارتفاع الأرض بين صدعين متقابلين. وقد يحدث في نفس الوقت هبوط في الأرض الواقعة على جانبيها الخارجيين ، ومعنى ذلك أن الحركات التي تسببها تكون معاكسة للحركات التي تسبب الوديان الصدعية . وقد توجد سلسلة من الهضاب والوديان الصدعية

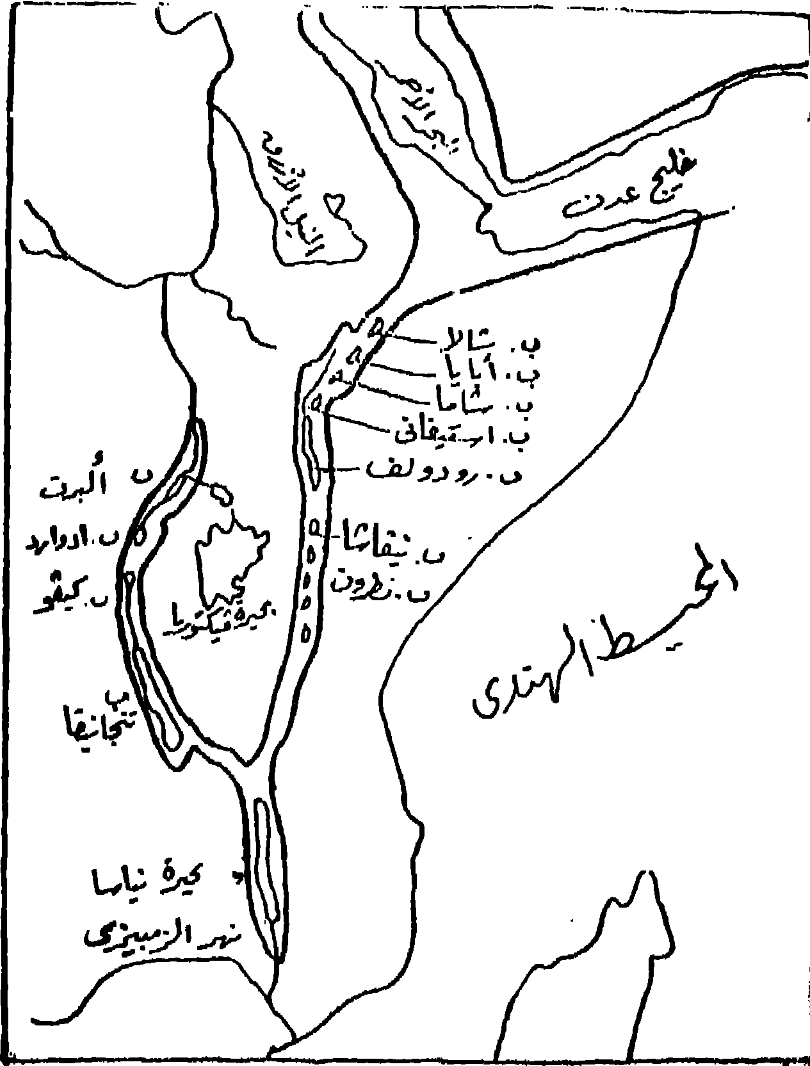
---

(١) هذه الكلمة مأخوذة من أصل ألماني .



شكل (٧٣) هضبة صدعية

شكل (٧٤) وادى صدعى



شكل (٧٥) امتداد الوادى الصدعى الأفريقى العظيم فى شرق أفريقية ، وأهم البحيرات التى توجد فى قاعه

متجاورة فى منطقة واحدة على حسب عدد الانكسارات التى تحدث فيها .
وتعتبر منطقة الفوج والغابة السوداء وهضبة بوهيميا فى وسط أوروبا من أوضح الأمثلة على ذلك .

٣ ـ الحافات الصدعية Fault Scarps : ويقصد بها الحافات التى تتكون نتيجة لرمية الصدع إلى أسفل أو إلى أعلى حيث يؤدى ذلك إلى ظهور القسم الأعلى من سطح الصدع بشكل حافة يختلف ارتفاعها على حسب مقدار الرمية ، وتتوقف شدة انحدارها على مقدار زاوية ميل الصدع . وبمجرد ظهور هذه الحافة فإنها تتعرض لعوامل التجوية وعوامل التعرية فتتآكل وتتراجع وتفقد كثيرا من معالمها ، وتتراكم الرواسب عند قاعدتها وتتكون منها بعض التلال الرسوبية والمراوح الفيضية Alluvial Fans .

وإذا لم تكن الحافة الصدعية قد تآكلت تماما وفقدت كل معالمها فمن الممكن الاستدلال عليها بعدة مظاهر منها أن يكون سطحها (وهو نفسه سطح الصدع) مصقولا نتيجة لاحتكاك جانبى الصدع ببعضها عند انزلاقها وكثيرا ما توجد على نفس السطح خدوش طويلة ممتدة فى نفس اتجاه حركة الانزلاق ، وهى تحدث نتيجة لوجود قطع صخرية شديدة الصلابة بين الجانبين المنزلقين وتحركها وهى مضغوطة بينها على طول سطح الصدع أثناء حركة الانزلاق . ومن الممكن الاستدلال على هذه الحافات أيضا بوجود رواسب معينة عند قاعدتها وأهمها ما يعرف بالدقيق الصخرى Rock Flour » « وبريشيا الصدوع Fault Breccia » ، ويتكون الدقيق الصخرى من رواسب ناعمة تتكون نتيجة لطحن بعض الصخور على سطح الصدع عند حدوث الانزلاق ، أما البريشيا فعبارة عن قطع صخرية ذات زوايا محددة وتتكون نتيجة لتحطيم الصخور المجاورة لسطح الصدع .

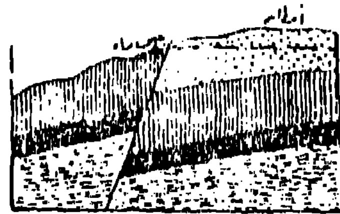
وإذا وجدت الحافة الصدعية فى طريق أحد الأنهار فإنها تؤدى إلى

لتكوين مسقط مائى Waterfall إذا كان النهر قادما من الجانب المرتفع للصدع أو لتكوين بحيرة إذا كان قادما من جانبه المنخفض .

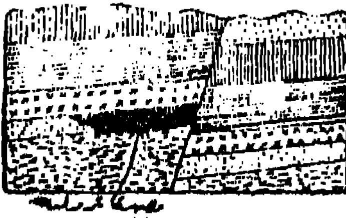
علاقتها بالمياه الجوفية ومصائد البترول :

إذا حدث التصدع فى منطقة بها طبقة مياه جوفية أو طبقة بترولية فإنه قد يؤدى إلى انبثاق الماء أو البترول من طريق الصدع ووصوله إلى السطح. ويتوقف الارتفاع الذى تصل إليه المياه أو البترول على قوة الضغط الذى يقع على الطبقة الحاوية لها وعلى منسوب المصدر الذى تتغذى منه هذه الطبقة ، ولذلك فقد تندفع المياه أو البترول بعد وصولها إلى السطح بشكل نافورة ، أو تنساب بهدوء ، وقد لا تصل إلى السطح إما بسبب عدم وجود طريق لها إلى سطح الصدع أو لعدم وقوعها تحت أى ضغط .

وقد يؤدى تغير منسوب الطبقات على جانبى الصدع إلى حلول طبقات صماء محل الطبقة البترولية أو المائية على أحد جانبى الصدع فتسد هذه الطبقة ويتجمع الماء أو البترول بشكل خزان . وهذه فى الواقع هى احدى الطرق المعروفة لتكون المصائد البترولية .



شكل (٧٦) عين ماء صدعية



شكل (٧٧) مصيدة بترولية صدعية

الفصل الحادي عشر

الحركات التكتونيه المفاجئه (١)

EARTHQUAKES

أولا – الزلازل

تمهيد – المقصود بالحركات المفاجئة :

المقصود بهذه الحركات هو الحركات التي تحدث فجأة بسبب اضطرابات باطنية سواء في القشرة الأرضية نفسها أو في التكوينات التي ترتكز عليها . وهي لا تستمر إلا وقتا قصيراً قد لا يزيد على جزء من الدقيقة الواحدة ، وأهمها هي الهزات الزلزالية والثورانات البركانية . وعلى الرغم مما قد تسببه هذه الحركات من كوارث مروعة فإن علاقتها بتشكيل تضاريس سطح الأرض لا تظهر إلا في مواضع محدودة ، وذلك بعكس الحركات البطيئة التي لعبت الدور الرئيسي في تكوين معظم التضاريس الكبيرة لسطح الأرض ومع ذلك فان الآثار الفيزيوغرافية التي تنتج عن الحركات المفاجئة ، وخصوصا الظاهرات المرتبطة بالثورانات البركانية ، تعتبر من الموضوعات المهمة التي تستحق العناية عند دراسة الجغرافيا الطبيعية . ومن الثابت أن نشاط هذه الحركات وتأثيرها كانا أقوى بكثير خلال العصور الجيولوجية المختلفة منها في الوقت الحاضر بسبب تزايد استقرار القشرة ، ومع ذلك فان بعض مناطقها لم تصل بعد إلى الاستقرار التام . وهذه هي المناطق التي تسمى أحيانا بالمناطق الضعيفة . وهي توجد في نطاقات كبيرة تتمشى مع النطاقات التي تكونت فيها سلاسل الجبال الحديثة ، والتي ما زالت تتعرض حتى الآن للهزات الزلزالية والثورانات البركانية .

تطور المعرفة بالزلازل :

على الرغم من أن الزلازل قديمة قدم الأرض نفسها وأن كوارثها المفجعة كانت كثيرة الحدوث في الماضي وأنها ما زالت تحدث في الوقت الحاضر بين الحين والحين فان دراستها على أساس علمي سليم لم تبدأ إلا في أواسط القرن التاسع عشر . وقبل ذلك كانت كل محاولات تفسيرها غير مبنية على أي أسس علمية ، مما ترك المجال لانتشار التفسيرات الخرافية بين العامة في مختلف بلاد العالم ، فما زال بعض العامة حتى في البلاد المتقدمة يربطون حدوثها بوجود حيوان ضخم تحت الأرض ، وبأن هذا الحيوان هو الذى يحركها عندما يقوم بحركات خاصة . إلا أن نوع هذا الحيوان يختلف من بلد إلى آخر على حسب طبيعة البيئة السائدة . ففي مصر وغيرها من بلاد الشرق الأوسط يقولون أنه ثور ضخم يحمل الأرض على قرنيه وأن الأرض تهتز عندما ينقلها من قرن إلى آخر ، وفي الولايات المتحدة يعتقدون أنه سلحفاة ضخمة ، وفي اليابان يعتقدون أنه سمكة ضخمة يمكنها أن تهز الأرض إذا حركت ذنبها .

وتدخل الدراسة الحديثة للزلازل ضمن علوم الطبيعة الأرضية Geophisics والمعروف أن هذه العلوم لها صلات قوية بعلوم طبيعية أخرى مثل علوم الجغرافيا الطبيعية والجيولوجيا والطبيعة . ومع التقدم السريع في كل هذه العلوم وغيرها انسلخت منها علوم كثيرة تخصص كل منها في أحد الفروع الدقيقة ومن بينها علم السيسموجرافيا Seismography [١] ، أو علم دراسة الزلازل .

ولئن كان الإنسان قد استطاع بفضل التقدم العلمي أن يحمي نفسه

(١) الاسم العلمي للزلزال هو Seismos ، وهي كلمة يونانية قديمة تستخدم مشتقاتها المختلفة في الدراسات العلمية الخاصة بهذا الموضوع ، وعلى هذا الأساس أطلق اسم « سيسموجراف Seismograph » على جهاز قياس الموجات الزلزالية ، وظهرت تعبيرات أخرى كثيرة مشتقة من نفس الاسم .

من بعض الظاهرات الطبيعية الخطيرة ، فانه ما زال عاجزا عن أن يحمى نفسه من خطر الزلازل ، لأنها تحدث دائما فجأة وبغير انذار . وقد حاول بعض العلماء المهتمين بدراسة الزلازل أن يتوصلوا إلى طريقة يمكن بواسطتها التنبؤ باقتراب حدوثها ، ولكن جميع المحاولات لم تصادف نجاحا يستحق الذكر ، وكل ما أمكن عمله لتقليل الخسائر التي تنجم عنها في المناطق التي تتعرض لها هو إقامة المباني بشكل خاص وبمواد معينة تستطيع مقاومة الهزات الأرضية. فلقد تبين مثلا أن الأسمنت المسلح هو أصلح مادة للبناء في هذه المناطق . وكلما كان حجم البناء صغيرا وارتفاعه قليلا كانت مقاومته للهزات الأرضية كبيرة ، والمبانى المشيدة على أرض صخرية صلبة والتي يتعمق أساسها في الأرض لمسافة كبيرة تكون كذلك أقدر على تحمل هذه الهزات من المبانى التي تقام على السطح أو التي لا تتعمق في الأرض بالقدر الكافى الذى يحفظ لها توازنها عند حدوث الهزات الأرضية .

أسبابها وتحديد مراكزها :

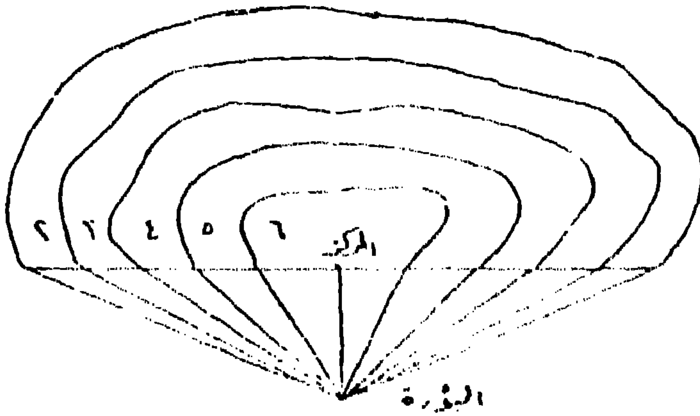
أوضحت الدراسات الحديثة أن هناك نوعين من الزلازل ، ينتج أحدهما من حدوث حركات تكتونية مفاجئة ويطلق عليه لهذا السبب تعبير « الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes » ، وأهم الحركات التي تسبب هذا النوع هي حركات التصدع وما يصاحبها من انزلاق في التراكيب الصخرية تحت سطح الأرض . أما النوع الثانى فيرتبط حدوثه بالثورانات البركانية وما يصاحبها من حركات عنيفة تؤدي إلى اندفاع المواد المنصهرة أو الغازية بقوة بين طبقات الصخور ، ويطلق عليه تعبير « الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes » وهى أقل حدوثا بصفة عامة من الزلازل التكتونية

والنقطة التي يبدأ منها الزلزال تكون عادة موجودة على عمق عدة كيلو مترات تحت سطح الأرض . وهذه النقطة هي التي تعرف باسم « البؤرة الزلزالية Seismic Focus » ومن هذه البؤرة تنتشر الموجات الزلزالية في

جميع الاتجاهات تقريبا . وأول نقطة تصل إليها على السطح هي النقطة التي تقع فوق البؤرة ، ويطلق عليها اسم « المركز السطحي Epicentre » .

وقد تبين من دراسة عدد كبير من الزلازل ، أن البؤرة في معظمها كانت على أعماق تقل من ثمانية كيلو مترات تحت سطح الأرض وأنه من النادر جدا أن يزيد عمقها عن ٥٥ كيلو مترا ، وبمجرد مولد الزلزال في بؤرته تنتشر موجاته في كل الاتجاهات ويظهر تأثيرها على السطح في كل المنطقة المتأثرة به ، ويتوقف اتساع هذه المنطقة على درجة شدة الزلزال ، فقد يصل اتساع هذه المنطقة في الزلازل العنيفة إلى بضعة ملايين من الكيلو مترات المربعة ، بل وقد يصل تأثيرها أحيانا إلى كل بقاع سطح الكرة الأرضية . ولكن لا يشترط أن يشعر بها الإنسان في كل هذه البقاع ، وإنما تسجلها أجهزة القياس فقط في البقاع النائية .

والذي يهمنا على أي حال هو المنطقة التي تؤثر فيها الهزات الزلزالية بشكل محسوس، وهذه المنطقة يمكن تحديدها على الخريطة بواسطة خطوط توصل بها الأماكن التي تتساوى فيها آثار الزلزال كما تدل عليها مظاهر التدمير والتخريب أو مجرد الحركات التي تحدث في المباني وغيرها من الأجسام ، وكما تدل عليها كذلك أجهزة القياس ، ويطلق على هذه الخطوط اسم « خطوط الشدة الزلزالية المتساوية Isoseismal Lines » . وتكون هذه الخطوط غالبا بشكل دوائر غير منتظمة حول المركز العلوي ويلاحظ أن هذا المركز لا يكون معروفا لأول وهلة، وأن هذه الخطوط هي التي تساعد بعد رسمها على تحديده . وترسم بنفس الطريقة خطوط أخرى توصل بها الأماكن التي تصل إليها الهزات الزلزالية في وقت واحد . ويطلق عليها اسم « خطوط الوقت الزلزالي المتساوي Homoseismal Lines » ويمكن بواسطتها كذلك تحديد مركز الزلزال .



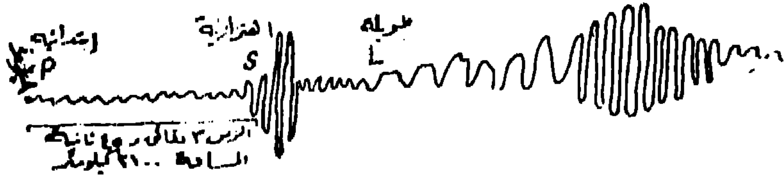
شكل (٧٨) خطوط الشدة الزلزالية المتساوية

انتقال موجاتها :

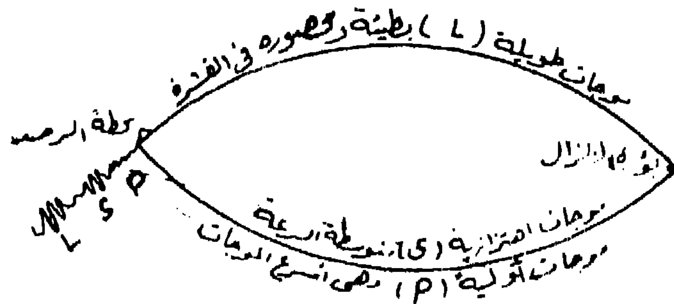
تنتقل الهزات الزلزالية بشكل موجات تختلف في سرعتها وفي أطوالها وأشكالها على حسب الوسط الذي تخترقه ، ويؤدي تباين سرعتها إلى أن بعضها يسبق بعضها الآخر ، ويسجلها جهاز القياس (السيسموجراف) بنفس ترتيب وصولها . وهي تظهر على خريطة الجهاز بشكل خط متعرج تتمثل فيه على الترتيب ثلاثة أنواع من الموجات يشغل كل منها قسما معينا منه . وهذه الموجات على حسب ترتيب وصولها إلى الجهاز ، هي :

١ ـ موجات ابتدائية Primary (P) : وهي أسرع الموجات وأولها وصولا إلى الجهاز ، ويمثلها القسم الأول من الخط . وهي موجات تضاغطية Compressional تشبه ذبذبات انتقال الصوت في الهواء ، أي أنها تنتقل في حركة أمامية خلفية ، وهي تسير تحت السطح مخترقة الطبقات السفلى للقشرة ، وتؤدي إلى ذبذبة الوسط الذي تخترقه في نفس اتجاه سيرها . وتتراوح سرعتها بين ٥٠٥ و ١٣٠٨ كيلو مترا في الثانية . ولكنها تزداد كلما تعمقت في باطن الأرض .

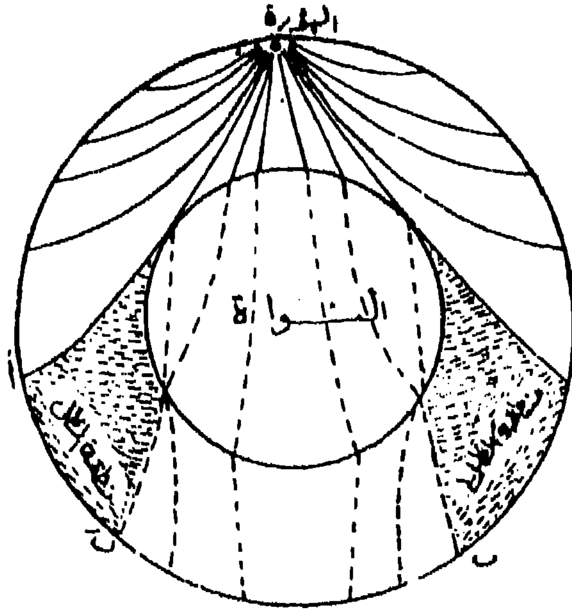
ب - موجات اهتزازية Shake (or Shear) Waves (S) : وهي التي تسمى كذلك بالموجات الثانوية . وهي موجات سريعة ، ولكنها أقل سرعة من الموجات الابتدائية ، ولذلك فإنها تأتي بعدها مباشرة ، ويمثلها القسم الأوسط من الخط الذي يسجله السيسموجراف . وهي موجات مستعرضة Transverse تأخذ في حركتها اتجاهات متعامدة على الاتجاه العام لسيرها . وهي تشبه التموجات التي تحدث في حبل مشدود عند اهتزازه اهتزازا رأسيا. وهي تسير تحت السطح مخترقة الطبقات السفلى من القشرة ، شأنها في ذلك شأن الموجات الابتدائية . وتتراوح سرعتها بين ٣٫٢ و ٧٫٤ كيلو مترا في الثانية . وتزداد سرعتها كلما تعمقت في باطن الأرض ، ولكنها تتكسر عند اختراقها للنواة بسبب اختلاف تركيبها . وقد استفاد الباحثون من دراسة الموجات الزلزالية الأولية والاهتزازية في معرفة كثير من الحقائق عن تركيب باطن الأرض



شكل (٧٩) خريطة رسمها السيسموجراف لأحد الزلازل



شكل (٨٠) انتقال الموجات من البؤرة إلى إحدى محطات الرصد المتأثرة بالزلزال مباشرة



شكل (٨١) اختراق الموجات الزلزالية للكرة الأرضية

المحطات الواقعة بين البؤرة والنقطتين ا و ا َ تصلها كل الموجات مباشرة ، والمحطات الواقعـــة بين النقطتين ا و ب وبين النقطتين ا َ و ب َ تقع في منطقـــة الظل ولا تصلها الموجات الابتدائية ، والمحطات الواقعة بين النقطتين ب و ب َ تصلهـــا الموجات ضعيفة بعد اختراقها النواة .

حـ ـ موجات طويلة Long Waves (L) : وهي موجات مستعرضـــة تتحرك بنظام يشبه النظام الذي تنتقـــل به الأمواج على سطح المـاء ، وهي تخترق الطبقـــات السطحية وتأخـذ في سيرها خطاً متـموجاً تتردد تموجاته بالانعكاس بين أسفل الطبقات وأعلاها ، ولذلك فانها تقطع في رحلتها طريقاً أطول من النوعين الآخرين فتصل لهذا السبب متأخرة نسبيا ويمثلها القسم الأخير من الخط الذي يرسمه السيسموجراف . وتبلغ سرعتها حوالي أربعة كيلومترات في الثانيــة . ونظرا لأنها تتحرك عنـد سطح الأرض فانهـا هي المسئولة عن معظم ما يسببه الزلزال من تدمير وتخريب .

درجات الشدة الزلزالية :

على الرغم من أن الكوارث الزلزالية لا تحدث في الوقت الحاضر إلا في اوقات متباعدة نسبياً ، وبمعدل لا يزيد عموماً عن كارثتين او ثلاث في السنة فإن الهزات الزلزالية الخفيفة كثيرة الحدوث جداً لو حسبناها في كل انحاء العالم حتى انه لا يكاد يمر أى يوم دون أن تحدث عدة هزات في مناطق متفرقة ، ولكن أكثر الهزات يمر دون أن تكون له آثار محسوسة ، بل إن كثيراً منها يكون أضعف من أن يشعر به الانسان ولكنه يسجل بواسطة أجهزة السيسموجراف . ومن أشهرها الجهاز الذى ابتكره الباحث الالمانى ريختر حوالى سنة ١٩٢٩ وعلى أساسه قسمت الزلازل الى ١٢ درجة وأعطى لكل منها رقماً خاصاً . وحتى في حالة عدم وجود السيسموجراف فإن درجات الزلازل يمكن أن يستدل عليها ببعض العلامات كما هو مبين في الجدول التالى :

درجة الزلزال ونوعه	بعض العلامات الدالة عليه
(١) زلزال جهازى Instrumental	لا تدل عليه الا أجهزة السيسموجراف .
(٢) ضعيف جداً Very Feeble	لا يشعر به الا ذوى الحساسية المرهفة .
(٣) ضعيف Slight	يشعر به الناس أثناء الراحة .
(٤) متوسط Moderate	يشعر به الناس أثناء الحركة والعمل وتهتز بسببه النوافذ والابواب .
(٥) شديد Rather Strong	يستيقظ الناس وتهتز الاشياء المعلقة وتدق أجراس الكنائس .
(٦) عنيف Strong	يحدث بعض التخريب وتسقط الزجاجات الموضوعة على الرفوف .

(٧) عنيف جداً Very Strong	تتشقق بعض الجدران ، ويحدث فزع شامل بين الناس .
(٨) مخرب Destructive	تسقط المداخن والمآذن ويحدث بعض التخريب في بعض المباني .
(٩) هدمي Ruinous	تداعي بعض المباني ويسقط قليل من الضحايا .
(١٠) مروع Disastrous	تنهار كثير من المباني ، وتحدث بعض الانهيارات الأرضية ، ويسقط عدد غير قليل من الضحايا .
(١١) مروع جداً V Disastrous	تنهار أغلب المباني ، وتحدث بعض التشققات في قشرة الأرض وتتحطم السدود وتنثني قضبان السكك الحديدية ويسقط مئات الضحايا .
(١٢) كارثة زلزالية Catastrophic	دمار شامل وتصدعات في قشرة الأرض وحرائق واسعة الانتشار وفيضانات وضحايا بالآلاف .

وتحدد منطقة الزلزال على الخريطة بواسطة خطوط الشدة الزلزالية المتساوية التي سبق أن تكلمنا عنها ونقسم المنطقة التي تغطيها هذه الخطوط إلى نطاقات يرقم كل منها بالرقم الذي يدل على شدة الهزات التي تصيبه ، كما توضحها الآثار الناجمة عنها حسب ما ورد في التقسيم السابق . ويستعان على معرفتها بالتقارير التي تصل من المناطق المختلفة التي تأثرت بالزلزال . وأشد النطاقات تأثراً بالهزات هو النطاق الذي يقع حول المركز مباشرة وتتناقص شدتها كلما ابتعدنا عن هذا المركز ، ويمكن الاستدلال على قوة الزلزال

بصفة عامة من الرقم الذى يمثل درجة الشدة فى نطاقه المركزى ، ففى الزلازل المتوسطة الشدة يكون رقم النطاق المركزى ٤ أو ٥ ويتناقص كلما اتجهنا إلى الخارج بينما يكون رقمه ٩ فى الكوارث المدمرة ١٢ . وقد لوحظ عموماً أن التخريب الذى يحدث فى المركز نفسه يكون أقل نوعاً ما منه فى النطاق المحيط بهذا المركز . والسبب فى ذلك هو أن الموجات التى تصل إلى هذا المركز تكون من أسفل إلى أعلى، وتؤدى إلى اهتزاز المبانى فى اتجاه رأسى، وتكون هذه الحركات الرأسية أقل تخريباً من الحركات الأفقية .

أمثلة لبعض الكوارث الزلزالية :

لا شك أن كثيراً من الكوارث الزلزالية التى حدثت فى العصور التاريخية القديمة أو قبلها كانت أفظع بكثير من أى كارثة من الكوارث التى سجلت خلال العهود الحديثة . ولكننا لا نعرف أى شىء عنها ، وحتى الكوارث التى سجلها التاريخ فى عهوده القديمة والوسيطة لا يمكن أن تشمل كل الكوارث التى حدثت فى تلك العهود حيث أن مناطق شاسعة من العالم كانت لا تزال مجهولة تماماً فى تلك العهود بل وفى بعض عهود التاريخ الحديث نفسه ، وربما تكون الكوارث الزلزالية التاريخية التى وصلتنا أخبارها أقل بكثير من الكوارث التى لم تصلنا أخبارها . وفيما يلى أمثلة قليلة لبعض الكوارث الزلزالية الحديثة .

أمثلة لبعض الزلازل الحديثة المشهورة

المنطقة التي ضربها وتاريخه	أهم نتائجه
١ ـ شمال الباكستان ـ ديسمبر سنة ١٩٧٤ .	دمرت تسع قرى وقتل عشرة آلاف شخص .
٢ ـ مدينة ماناجوى (نيكاراجوا) ديسمبر سنة ١٩٧٢ .	دمرت المدينة كلها وقتل خمسة آلاف شخص .
٣ ـ شمال شيلي مارس سنة ١٩٦٥ .	انهار أحد السدود واندفعت المياه المحملة بالرواسب الطينية والرملية والأحجار فأغرقت مدينة « الكوبره » ودمرتها وقتل حوالى ٦٠٠ شخص .
٤ ـ مدينة أنكوربج (ألاسكا) مارس سنة ١٩٦٤ .	دمرت المدينة وحدثت تصدعات في القشرة الارضية وقتل بضعة آلاف شخص .
٥ ـ مدينة أسكوبلي (يوغوسلافيا) يوليو سنة ١٩٦٣ .	دمرت المدينة كلها وقتل ١٢٠٠ شخص .
٦ ـ غرب ايران ـ سبتمبر ١٩٦٢ .	دمرت ٧٥ قرية وقتل حوالى عشرين ألف شخص .
٧ ـ شمال شرق ايران ـ أغسطس سنة ١٩٦٨ .	دمر العديد من القرى والمدن في منطقة واسعة وقتل خمسون ألف شخص .
٨ ـ مدينة بورت رويال (جاميكا) يونيو سنة ١٩٦٢ .	دمرت المدينة وقتل حوالى عشرين الف شخص وحدثت انزلاقات أرضية خطيرة فجرفت أكثر من نصف المدينة إلى البحر .

٩ — مدينة أغادير بالمغرب — فبراير سنة ١٩٦٠ .

دمرت المدينة كلها وقتل عشرين ألف شخص

١٠ — أكوادور سنة ١٩٤٩ .

حدثت انهيارات أرضية خطيرة دفنت كثيرا من القرى وسدت مجرى أحد الأنهار فتكونت مكانه بحيرة كبيرة .

١١ — مقاطعة كانسو (الصين) سنة ١٩٢١ .

دمرت المدن والقرى فى منطقة شاسعة وانهارت تربة اللويس فانسدت الانهار وحدثت فيضانات خطيرة . وقتل مائتا الف شخص .

١٢ — مقاطعة كانسو (الصين) سنة ١٩٢٧ .

تكرر ما حدث فى سنة ١٩٢١ وقتل مائه ألف شخص .

١٣ — طوكيو ويوكوهاما (اليابان) سبتمبر سنة ١٩٢٣ .

دمرت المدينتان ، وحدثت موجات تسونامى أغرقت مناطق واسعة وتشققت الارض فى أماكن كثيرة وبلغ عدد القتلى أكثر من ربع مليون شخص .

١٤ — مسينا (ايطاليا) سنة ١٩٠٨

دمرت المدينة وما حولها وقتل حوالى ١٦٤ ألف شخص .

١٥ — كاليفورنيا سنة ١٩٠٩ .

حدثت حركة انزلاق واضحة فى القشرة وتغير منسوب سطح الارض فى بعض المناطق بمقدار ثمانية أمتار .

١٦ - خليج ياكونات (ألاسكا سنة ١٨٩٩ . حدثت تصدعات فى القشرة وارتفعت بعض المناطق الساحلية بنحو ١٠ : ١٥ متراً .

١٧ - مقاطعة شانتوج (الصين) سنة ١٨٥٢ . حدثت تصدعات فى القشرة الارضية وإنشق مجرى جديد لنهر هوانجو الادنى فتحول النهر فجأة إلى المجرى الجديد وأصبح مصبه يقع الى الشمال من المصب الاصلى بنحو ٤٥٠ كيلومتر .

١٨ - حوض المسيسبى الادنى سنة ١٨١١ هبطت مناطق واسعة فى ولاية ميسورى وتينسى ، وتكونت بحيرات جديدة منها بحيرة ريل فوت Reelfoot فى تينيسى ويبلغ قطرها ٢٨ كيلومترا .

١٩ - لشبونة (البرتغال) سنة ١٧٥٥ . انشقت الارض على طول أحد الانهار وابتلعت مياهه بما عليها من زوارق ، كما ابتلعت رصيفاً قوياً كان مبنياً على جانبه وغاص معه الناس الذين فروا من منازلهم وتجمعوا فوقه . وإنطبقت الارض على كل ما ابتلعته ، كما حدثت موجات «تسونامى» عاتيه اغرقت مناطق واسعة . وبلغ عدد القتلى خمسين ألف شخص .

٢٠ شرق تركيا اكتوبر ١٩٧٥ . قتل ٥٠٠٠ شخص .

٢١ شرق تركيا نوفمبر ١٩٧٦ . دمر عدد كبير من القرى وقتل ٥٠٠٠ خمسة آلاف شخص .

٢٢ - شمال شرق تركيا (أرضروم) اكتوبر ١٩٨٣ .	دمرت ٣٠ قرية وقتل اكثر من ٢٠٠٠ نسخة .
٢٣ - شرق ايران سبتمبر ١٩٧٨	قتل ٢٠ ألفاً دمرت بعض المدن الكبرى وعدد كبير من القرى .
٢٤ - جواتيمالا (أمريكا الوسطى) فبراير ١٩٧٦ .	دمر نصف البلاد تقريباً ، وازيلت عشرون على الاقل من بينها العاصمة جواتيمالا . قتل اكثر من ٢٢ ألف وجرح أكثر من ٧٥ الفاً . انتشرت الأوبئة . فكان لابد من إحراق الجثث . استمرت الهزات فتكرر خلال اسبوع كامل حتى بلغ عددها حوالى ١٠٠٠ هزة .
٢٥ - زلزال اليمن ١٩٨٢	دمر كل قرى منطقة دامار .
٢٦ - زلزال مدينة الاصنام بالجزائر ١٩٨٠ .	
زلزال منطقة دامار باليمن ١٩٨٢	
زلزال غرب غينيا	

تدمير المواصلات : ومما يزيد فى هول الكوارث الزلزالية وكثرة ضحاياها أن هذه الكوارث تؤدى غالبا إلى تدمير طرق المواصلات ووسائل الانتقال البرية والنهرية ، حيث تلتوى خطوط السكك الحديدية وتدمر الطرق أو تطغى عليها مياه الفيضانات أو الانهيارات المختلفة ، كما أن نقص الأيدى العاملة فى المدن التى تصيبها الكوارث ، نتيجة لمقتل الآلاف من سكانها ، يعتبر كذلك من العوامل التى تعرقل عمليات الانقاذ وازالة الأنقاض ، ولذلك فكثيرا ما تلجأ الحكومات إلى قوات الجيش للمعاونة فى هذه العمليات .

تشقق الأرض وتصدعها : كثيرا ما تؤدى الكوارث الزلزالية إلى تشقق طبقات القشرة وتصدعها ، وقد تهبط بعض المناطق وترتفع غيرها وإذا كانت المنطقة الهابطة مجاورة للبحر فقد يؤدى هبوطها إلى اختفائها تحت مياهه ، كما حدث مثلا فى مدينة بورت رويال (فى جامايكا) سنة ١٩٦٤ حيث هبط جزء كبير من المدينة وغمرته مياه البحر . وكانت حركات الهبوط واضحة كذلك فى حوض المسيسبى سنة ١٨١١ حيث هبطت مناطق واسعة من ولايتى مسورى وتنيسى وتكونت فى أجزاء منها بحيرات جديدة . وفى الزلزال الذى ضرب مدينتى طوكيو ويوكوهاما سنة ١٩٢٣ هبطت أجزاء من قاع خليج ساجامى الذى نشأ الزلزال تحت قاعه بأكثر من ٣٠٠ متر . أما حركات الرفع فقد كانت واضحة فى زلزال ياكوتات فى ألاسكا سنة ١٨٩٩ حيث ارتفعت بعض المناطق الساحلية حوالى ١٥ مترا . وقد يحدث فى حالات نادرة أن تنشق الأرض وتبتلع بعض ما على السطح من مظاهر ثم تنطبق على ما ابتلعته ، وقد قيل أن هذا قد حدث بشكل واضح أثناء زلزال لشبونه سنة ١٧٥٥ ، كما سبق أن بينا . وقد كانت هذه الحادثة بالذات واحدة من الدوافع القوية التى حملت الباحثين على توجيه اهتمام أكبر إلى دراسة الزلازل على أساس علمى صحيح .

موجات التسونامى Tsunamis (أو أمواج البحر الزلزالية Seismic Sea Waves) ، وهى موجات بحرية عالية جدا تسببها الزلازل العنيفة التى تنشأ تحت قاع البحر أو بالقرب منه وكلمة تسونامى أصلها يابانى حيث أن جزر اليابان تشتهر بحدوث هذه الموجات ، وقد يزيد ارتفاع موجة التسونامى على ثلاثين مترا ، ويزيد طولها على ٢٥٠ كيلو مترا ، وقد تبلغ سرعتها أكثر من ٧٠٠ كيلو متر فى الساعة ، ولذلك فإنها تندفع فوق المناطق الساحلية التى تصادفها بقوة هائلة فتمحو كل مظاهر الحياة والعمران فى المناطق التى تغمرها ، وقد حدث فى كثير من الكوارث الزلزالية أن كانت الخسائر التى سببتها هذه الأمواج أكثر بكثير من الخسائر التى نجمت من مظاهر التخريب الأخرى . ولا تقتصر خطورة هذه الموجات على المناطق القريبة من مركز الزلزال بل إنها قد تسافر لمسافات طويلة جدا لتضرب مناطق ساحلية بعيدة من مراكز نشأتها حتى أن بعضها قد يعبر المحيط الهادى كله ، وقد حدث هذا فعلا فى بعض الكوارث الزلزالية مثل زلزال شيلى سنة ١٩٦٠ حيث اندفعت موجة تسونامى عظيمة الامتداد والارتفاع نحو الشرق بسرعة هائلة فضربت الجزر التى كانت فى طريقها ، ومنها جزر هاواى ، ثم وصلت إلى سواحل اليابان حيث أحدثت كثيرا من التدمير والتخريب وقتلت حوالى مائتى شخص . وذلك على الرغم من وصول تحذيرات سابقة بقدومها . وقد استغرقت رحلتها عبر المحيط (حوالى ١٦ الف كيلو متر) ٢٣ ساعة . وقد حدثت موجات تسونامى كذلك أثناء زلزال اليابان سنة ١٩٢٣ وفى زلزال لشبونه سنة ١٧٥٥ . وقد كانت الخسائر التى نجمت عنها فى هذه المدينة أضخم بكثير من الخسائر التى نجمت عن بقية عوامل التدمير الأخرى .

ونظرا لطول الرحلة التى يمكن أن تقطعها موجة التسونامى عبر أحد المحيطات فانه من الممكن التحذير منها واتخاذ بعض الاحتياطات للتقليل من أضرارها . ولكن نظرا لسرعة تحركها فإن التحذير من خطرها لا يسبق وصولها إلا بوقت لا يزيد عن ساعات اليوم الواحد ، ولذلك فانه حتى فى

الحالات التي تم فيها التحذير قبل وصولها بعد ساعات كانت الخسائر التي نجمت عنها كبيرة ، كما حدث في اليابان سنة ١٩٦٠ عندما وصلتها موجة تسونامي ضخمة من الجانب الشرقي للمحيط الهادى بسبب زلزال شيلي ، الذي سبقت الإشارة إليه . فعلى الرغم من التحذيرات التي سبقت وصولها فقد نجم عنها قتل مائتي شخص وهدم عشرات الآلاف من المباني .

التوزيع الجغرافي للزلازل :

على الرغم من أن الهزات الزلزالية يمكن أن تسجل في أية بقعة في العالم فان المراكز التي تنشأ فيها الزلازل تنحصر بصفة عامة على النطاقات الضعيفة من قشرة الأرض ، وهي نطاقات الانثناءات والانكسارات الحديثة التي ظلت حتى عصر البليستوسين عرضة لحركات تكتونية كثيرة من أهمها الحركات الألبية الحديثة التي تنتمى إليها أعظم السلاسل الجبلية في العالم ، وتمس هذه النطاقات هي التي تشتهر كذلك بكثرة ثوراناتها البركانية . ويدل توزيع الزلازل في العالم على أن هنالك نطاقين رئيسيين لحدوثها ونطاقين آخرين أقل منها أهمية .

والنطاقان الرئيسيان هما رقم ١ ورقم ٢ ، أما النطاقان الصغيران فهما رقم ٣ ورقم ٤ فيما يلي :

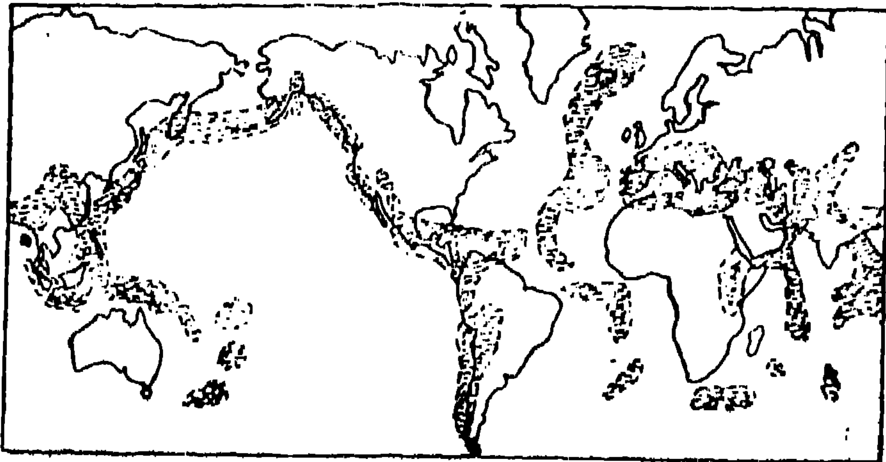
١ — نطاق يمتد حول المحيط الهادى ويشمل المناطق الساحلية في غرب الأمريكتين وشرق آسيا بما في ذلك نطاقات الجزر القريبة منها وكذلك الجزر الواقعة إلى الشرق من استراليا . ويمكننا أن نضم إلى هذا النطاق كذلك جزر الهند الغربية وقد تبين أن حوالى ٦٨٪ من الزلازل التي سجلت في العالم قد نشأت في هذا النطاق ، وهو نفس النطاق الذى يشتهر باسم « الحلقة النارية Fire Ring » بسبب كثرة براكينه .

٢ — نطاق يمتد في قلب العالم القديم بين الشرق والغرب ، وهو يبدأ

على سواحل المحيط الأطلسى فى الغرب ما بين جزر الرأس الأخضر (كيب فرد Cape Verde) فى غرب أفريقيا حتى شمال البرتغال ، ومن هنا يواصل امتداده نحو الشرق فى جنوب أوروبا وإقليم جبال أطلس ويستمر حتى شرق البحر المتوسط ويشمل كل آسيا الصغرى وإيران والنطاقات الجبلية الواقعة جنوب بحر قزوين وجبال هيمالايا ثم يتفرع نحو الشرق الى فرعين أحدهما يواصل امتداده شرقا إلى الصين بينما ينحرف الثانى نحو الجنوب الشرقى فى أسام وماليزيا والجزر الاندونيسية حيث يلتقى بالنطاق الأول . ويقد نشأ فى هذا النطاق حوالى ٢١ ٪ من الزلازل التى سجلت فى العالم .

٣ - نطاق يمتد فى وسط المحيط الأطلسى من أقصى شماله إلى أقصى جنوبه متمشيا مع الشق الطولى الذى يوجد فى وسط السلسلة المرتفعة الممتدة فى وسط هذا المحيط . ويواصل هذا الشق امتداده نحو الجنوب ثم يدور حول الطرف الجنوبى لإفريقيا ، ويتجه نحو الشمال فى غرب المحيط الهندى .

٤ - نطاق يمتد فى شرق إفريقيا على طول الوادى الصدعى العظيم .



شكل (٨٢) النطاقات الرئيسية للزلازل

الفصل الثانى عشر

الحركات التكتونية المفاجئة [ب]

النشاط البركانى

VOLCANIC ACTIVITY or VULCANICITY

مظاهر النشاط البركانى :

المقصود بالنشاط البركانى بأوسع معانيه هو خروج أى مادة من المواد من باطن الأرض أو من طبقات القشرة نتيجة لحدوث تغيرات أو حركات أرضية من أى نوع . أما بمعناه الضيق فإن المقصود به هو خروج المواد الباطنية المنصهرة إلى السطح وهى فى درجة حرارة عالية ، سواء أكان هذا الخروج مصحوبا بانفجارات عنيفة أو كان بصورة انسيابات هادئة .

وعلى أساس المدلول الواسع لهذا النشاط فانه يشمل المظاهر الآتية :

١ ـ البراكين المركزية (أو العادية) Volcanoes ، وفيها تندفع المواد المنصهرة الحارة (اللافا) من فتحة واحدة وتتراكم بشكل مخروط حول هذه الفتحة .

٢ ـ غطاءات اللافا Lava Sheets ، وفيها تنساب المواد المنصهرة بهدوء من شقوق فى القشرة وتنتشر فوق منطقة واسعة .

٣ ـ العيون والنافورات الحارة Hot Springs and Geysers ،

٤ ـ البراكين الطينية .

وكما هى الحال فى الزلازل فان النشاط البركانى كان أكثر حدوثا وأشد عنفا خلال العصور الجيولوجية المختلفة ، بل وخلال العهود التاريخية القديمة

منه في الوقت الحاضر . تبعا لما كانت عليه حالة الأرض من عدم استقرار .
والمعروف أن هذا النشاط هو المسئول عن بناء الهضاب والجبال البركانية
التي توجد في جهات كثيرة فوق اليابس ، بل وفوق قاع المحيطات . وعلى
الرغم من أن النشاط البركاني الذي ما زال يحدث في الوقت الحاضر في أماكن
متفرقة من العالم لم يعد يساهم بنصيب يستحق الذكر في المظهر التضاريسي العام
لسطح الارض عموما فان دراسة هذا النشاط تعتبر جزءا مهما جدا من الدراسات
الطبيعية ، وأهمها الدراسات الجغرافية والجيولوجية والجيوفيزيقية .

البراكين

المخروطات البركانية :

إن اندفاع المواد المنصهرة من فتحة محددة في سطح الأرض وتراكمها
بشكل تل مخروطي هو المظهر الشائع للنشاط البركاني . وهو في الواقع المظهر
الذي نقصده عادة عند الكلام على « البراكين » ، كما أنه هو المظهر الذي ترتبط
به الكوارث البركانية العنيفة التي تهز العالم من وقت إلى آخر . وعلى الرغم
من أن المخروطات البركانية تتباين فيما بينها من بعض الوجوه مثل الشكل
ونوع اللافا والمواد الصلبة التي تتكون منها فإنها تشترك في الصفات الرئيسية
العامة ، فالمخروط البركاني له عدة أجزاء معروفة تشترك فيها كل المخروطات
تقريبا ، وأهم الأجزاء/هي :

١ — القصبة Conduit ، وهي القناة التي تندفع عن طريقها الماجما المنصهرة
وغيرها من المواد البركانية من باطن الأرض إلى السطح ، وتكون غالبا
دائرية وأشبه بالانبوب الطويل المتسع . وهي تواصل امتدادها إلى أعلى
وسط المخروط ، ويزداد طولها كلما ازداد ارتفاعه . وتمتد القصبة عادة في

اتجاه رأسي ، ولكن قد يحدث مع ذلك أن تفتح المواد المندفعة لنفسها قصبة أو قصبات أخرى جانبية . ويحدث ذلك إذا توقف ثوران البركان لفترة من الزمن وتصلبت اللافا في القصبة الأصلية وسدتها تماما ، فاذا عاد البركان إلى الثوران فان المواد المندفعة قد تعجز عن شق طريقها عبر القصبة الأصلية فتشق لنفسها قصبة أو أكثر في جانب المخروط .

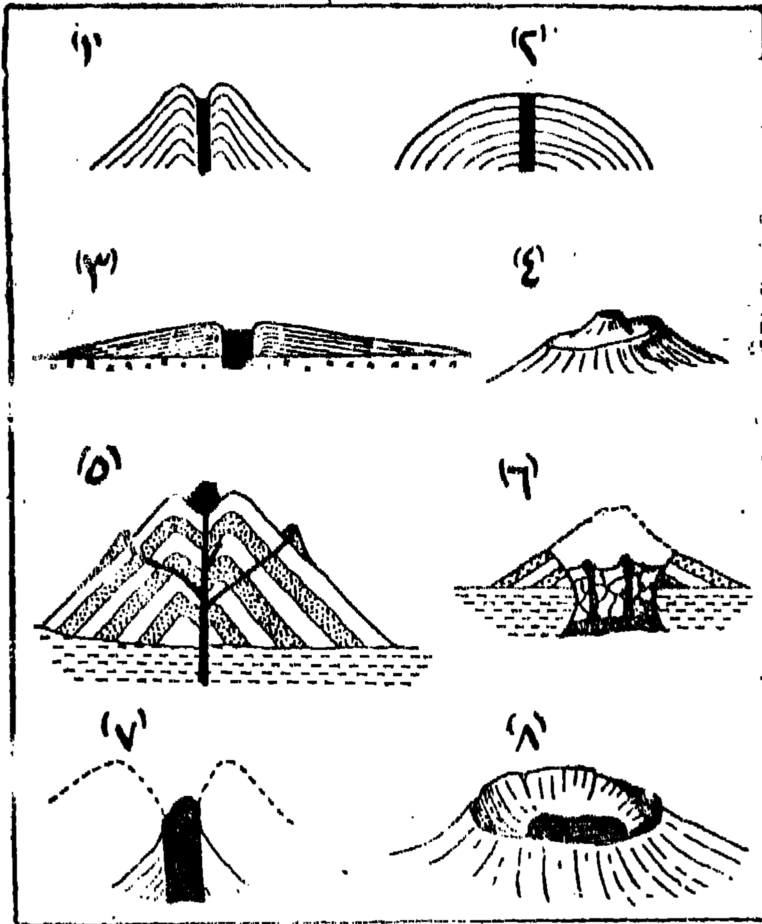
٢ — العنق البركاني Volcanic Neck ، وهو كتلة صخرية شديدة الصلابة تبرز في أعلى بعض المخروطات البركانية القديمة ، وتمثل جزءا من القصبة البركانية التي تتكون من اللافا المتصلبة بعد أن أزيل المخروط من حولها بواسطة التجوية والتعرية .

٣ — الفوهة Vent ، وهي الطرف العلوي للقصبة .

٤ — القمع Crater . وهو الحوض المخروطي المخروطي الصغير الذي يبدأ من الفوهة ويتسع إلى أعلى ليحتل قمة البركان .

٥ — المخروط Cone ، وهو جسم البركان نفسه ، وكثيرا ما يشار إليه باسم « البركان » أو الجبل البركاني . وقد يكون المخروط بسيطا ، وهذا هو الغالب ، ولكنه قد يحمل على جانبيه مخروطا صغيرا أو أكثر . ويكون له في هذه الحالة أكثر من قصبة واحدة . ويحدث هذا إذا انسدت القصبة الأصلية واستطاعت المواد المندفعة أن تفتح قصبات جانبية جديدة ، حيث تتراكم المواد البركانية حول فوهات القصبات الجديدة وتتكون نتيجة لذلك مخروطات جانبية . ويطلق على المخروط في هذه الحالة اسم « المخروط المركب Composite Cone » .

وتتباين المخروطات البركانية فيما بينها تباينا كبيرا في الحجم ، فمنها ما لا يزيد ارتفاعه عن مائة متر ، ومنها ما يصل ارتفاعه إلى أكثر من خمسة آلاف متر ، ففي أفريقيا يبلغ ارتفاع مخروط جبل كليمانجارو ٦٠١٠ أمتار ، وجبل كينيا ٥٦٠٠ متر ، وفي أوروبا يبلغ ارتفاع مخروط بركان إتنا ٣٥٠٠ متر وبركان فيزوف ١٢٠٠ متر .



شكل (٨٣) أشكال بركانية

(١) مخروط من الرماد البركانى .　　　(٢) قبة من اللافا الحمضية .

(٣) مخروط من اللافا القاعدية .

(٤) مخروط ثانوى داخل قمع بركانى قديم .

(٥) مخروط بركانى مركب .　　　(٦) كولديرا .

(٧) عنق بركانى كشفته التعرية .　　　(٨) بحيرة فى كالديرا .

الـكولديرا Caldera : وهى حوض كبير عميق جوانبه شديدة الانحدار ويتكون فى أعلى بعض المخروطات البركانية . ويرجع تكونه بصفة خاصة إلى اتساع القمع بفعل عوامل التعرية وعوامل التجوية وانهيار جوانبه ، ولذلك فان الكولديرا توجد غالبا فـوق المخروطات البركانية القديمة التى مضى على هدوئها وقت طويل ، ولكنها قد تتكون كـذلك فوق بعض المخروطات الحديثة إذا ما حدث وهـدأ البركـان لفترة من الزمن ثم ثار مرة أخرى ثورانا عنيفا بدرجة تؤدى إلى الإطاحة بقمته كلها ، وفى هذه الحالة قد يمتلىء التجويف الذى تركته القمة المتطايرة ، بالمقذوفات الحديدة أو يتكون فى وسطه مخروط جديد صغير .

وإذا سقطت الأمطار فى منطقة البركـان فان الكولديرا تتحول إلى بحيرة بركـانية جوانبها شديدة الانحـــدار . ويتحول المخروط الذى بوسطها (إن وجد) إلى جزيرة صخرية . وأكبر كولديرا من هذا النوع فى العالم هى كولديرة آسو Aso فى اليابان ويبلغ قطرها ٢٢ كيلو مترا . ولا يزال يوجد فى وسطها بركان نشط . ومن البحيرات البركانية التى تستحق الذكر كذلك والتى تكونت وسط كولديرات بحيرة أوريجون فى الولايات المتحدة . وتوجد فى وسطها جزيرة صغيرة تمثل مخروطا بركـانيا حديثا ، وكـذلك بحيرة توبا Toba فى شمال غرب جزيرة سومطرة .

مخروطات اللافا الحمضية Acidic L. واللافا القاعدية (أو البازلتية) Basic L.

تشترك اللافا التى تنطلق من فوهات البراكين فى أنهـا تكون عند بدء خروجها شديدة الحرارة جـدا بحيث تزيد درجة حرارتها عادة عن ١٠٠٠° مئوية ، إلا أنها تتباين فيما بينها من حيث درجة السيولة التى تتوقف على نسبة السليكا التى تدخل فى تركيبها ، وعلى هـذا الأ[illegible] ، تنقسم اللافا إلى نوعين

رئيسيين هما : اللافا الحمضية التي تدخل السليكا في تركيبها بنسبة كبيرة ، واللافا القاعدية التي تدخل فيها السليكا بنسبة صغيرة . واللافا الحمضية تكون مادة ثقيلة ولزجة وتتحرك لهذا السبب ببطء شديد وسرعان ما تتصلب بمجرد خروجها إلى السطح فتتكون منها مخروطات مرتفعة ولكنها صغيرة المساحة وكثيرا ما تأخذ شكل القباب . ومن أمثلتها المخروطات البركانية الموجودة في هضبة بوهيميا والقباب التي توجد في جزر ري يونيون Reunion في المحيط الهندي والقباب الموجودة في منطقة ناشونال بارك National Park . في جبال روكي بالولايات المتحدة . أما اللافا القاعدية (البازلتية) فتكون أكثر سيولة وتنساب لمسافات كبيرة قبل أن تبدأ في التصلب . وتكون مخروطاتها لهذا السبب قليلة الأوضاع وتمتد في مناطق أوسع بكثير من مخروطات اللافا الحمضية ومن الطبيعي أن تتزايد درجة السيولة كلما زادت قاعدية اللافا (أي نقصت نسبة السليكا بها) ويؤدي ذلك إلى انسيابها بعد خروجها بسرعة كبيرة مما يؤدي إلى اتساع المناطق التي تغمرها، ومن أمثلتها معظم المخروطات البركانية في جزر هواي (راجع شكل ٣٢) .

واللافا الحمضية مكونة أساسا من مواد جرانيتية ألوانها فاتحة ومائلة إلى البياض أو الرمادي، الفاتح أو الأحمر، وعندما تتصلب على السطح تتكون منها صخور الريوليت Rhiolite أو الانديسيت . ويتكون الريوليت إذا كانت اللافا شديدة الحموضة ، وهو يتميز بألوانه الفاتحة ، أما الإنديسيت فيتكون إذا كانت اللافا متوسطة الحموضة وتكون ألوانه داكنة نوعا ما . أما اللافا القاعدية فتتكون أساسا من مواد بازلتية مائلة إلى السواد . وعندما تتصلب تتكون منها صخور البازلت .

وتختلط باللافا عند خروجها غازات مختلفة إلا أن غازات اللافا القاعدية تكون أكثر من غازات اللافا الحمضية ولذلك فان صخور البازلت الناتجة منها

تحتوي عادة على كثير من الثقوب التي سببها خروج الغازات منها ويؤدي خروج هذه الغازات من اللافا وخصوصا اللافا القاعدية إلى تكون كثير من الفقاقيع فوق سطحها، ويكون مظهرها شبيها بمظهر الزبد (الرغوة) وعندما تتصلب هذه الفقاقيع فانها تكون الصخر المعروف باسم صخر الخفاف Pumice وهو صخر خفيف جدا وتكثر به الثقوب والمسام . وإذا تكون من اللافا الحمضية فان لونه يكون مائلا إلى البياض ، أما إذا تكون من اللافا القاعدية فان لونه يكون مائلا إلى السواد . وكثيرا ما تتكون فوق سطح اللافا القاعدية طبقة متصلة من الفقاقيع المتصلبة التي تبدو في هذه الحالة بشكل الزبد ، ويطلق على هذه الطبقة لهذا السبب اسم الزبد الصخري Scoriae .

المقذوفات البركانية الاخرى (غير اللافا) :

تنطلق من فوهات البراكين ، بالإضافة إلى اللافا السائلة ، ومواد أخرى صلبة وغازية تختلف في أنواعها وكمياتها من بركان إلى آخر ، وفيما يلي وصف لأهم هذه المواد .

المقذوفات الصلبة :

تتكون هذه المقذوفات من حبات صلبة وقطع صخرية مختلفة الأشكال والاحجام ، وأهم أنواعها هي : ١) البريشيا البركانية Volcanic Breccia وهي قطع صخرية ذات زوايا وجوانب حادة، وهي تنشأ من تكسر الصخور الصلبة التي كانت تسد القصبة والفوهة قبل الثوران، ويؤدي انفجار البركان عادة إلى ارتفاعها إلى الجو مئات الأمتار ، ٢) القذائف البركانية Volcanic Bombs وهي عبارة عن كرات ملساء شكلها قريب من شكل الكمثري ، ويبلغ قطر الواحدة منها حوالي ثلاثة سنتيمترات أو أكثر قليلا ، وهي تتكون من انطلاق قطع من اللافا المنصهرة في الهواء وتصلبها أثناء هبوطها ، وهذا هو السبب في أخذها شكل الكمثرى ، ٣) الجمرات Cinders أو اللاب Lapilli

ويقصد بها القذائف البركانية الصغيرة التي يتراوح قطرها بين ثلاثة سنتيمترات ونصف سنتيمتر ، ٤) الرماد Volcanic Ashes وهو عبارة عن حبات حصوية صغيرة يتراوح قطرها بين ربع مليمتر ونصف سنتيمتر وهي تتراكم فوق مخروط البركان نفسه أو تنتشر في مساحات واسعة حوله، وقد تتكون منها طبقة سميكة تكسو سطح الارض، ٥) الغبار البركاني Volcanic Dust ويشمل أدق المواد الصلبة التي تنطلق من البركان والتي لا يزيد قطر حبيباتها من ربع مليمتر ، ونظرا لخفتها فإنها ترتفع عند انفجار البركان إلى علو كبير في الجو ، وقد تبقى عالقة بالهواء مدة طويلة وتحملها الرياح العليا إلى مسافات بعيدة جدا ، ومن أشهر الامثلة على ذلك الغبار الذي أنطلق من بركان كراكاتوا عند ثورانه سنة ١٨٨٣ فقد ذكر الباحثون أن بعض هذا الغبار ظل عالقا بالجو لمدة عام كامل وأنه دار حول الكرة الأرضية كلها . وإذا حدث وسقطت الامطار في منطقة البركان (وهو ما يحدث في غالب الاحيان) فانها تسقط مادة بغزارة متناهية وتختلط عند سقوطها بالغبار فتتحول إلى أمطار طينية وتتكون منها سيول جارفة على جوانب البركان فتغمر المناطق المجاورة وتصيبها بخسائر كبيرة ، ولكنها قد تؤدى كذلك إلى تكوين طبقات جديدة من التربة البركانية الخصبة .

وقد يكون المخروط البركاني مكونا بأكمله من المواد الصلبة التي سبق ذكرها ، وخصوصا من الرماد والجمرات . وتشتهر أيسلندة بصفة خاصة بوجود هذا النوع من المخروطات ومن أشهرها المخروطات القريبة من العاصمة ريكيافيك وعددها حوالي تسعون مخروطا ، وتتراوح ارتفاعاتها بين ٤٠ و ٥٠ مترا، وكلها مكونة من الرماد البركاني . ويعتبر بركان دى فويجو Volcano de Fuego في جواتيمالا أعلى مخروط مكون من الرماد البركاني.

فى العالم . ويبلغ ارتفاعه حوالى ٣٣٠٠ مترا ، ومن أمثلة هذه المخروطات أيضا مخروط بركان مونت نوفو Monte Novo إلى الغرب من نابلى فى ايطاليا ، وهو بركان حديث العهد جدا ويبلغ ارتفاعه حوالى ٥٠٠ متر . وكذلك المخروط الذى تكون فى سنة ١٩٣٧ عند خليج بلانش Blanche Bay قرب راباول Rabaul فى أرخبيل بسمارك وقد وصل ارتفاعه خلال الأيام الثلاثة الأولى من عمره ٢٧٤ مترا ، وكذلك بركان باريكوتين Paricutin الذي بدأ ثورانه فى سنة ١٩٤٣ ووصل إرتفاعه ٤٥٠ مترا .

المقذوفات الغازية :

إن المواد الغازية التى تنطلق من البراكين كثيرة ومتنوعة ، إلا أن أهمها هو بخار الماء وبعض غازات الكبريت والكلور والأيدروجين وثانى أكسيد الكربون ، وتقدر نسبة المواد الغازية التى تخرج من البراكين عموما بنحو ٥ ٪ من مجموع المقذوفات البركانية ، وأهم المواد الغازية على الاطلاق هو بخار الماء الذى يكون وحده ما بين ٧٥ ٪ و ٩٥ ٪ من مجموعها ولهذا السبب فان ثوران البراكين يصحبه غالبا انهار الأمطار بغزارة متناهية فوق منطقة البركان . وما زال مصدر بخار الماء الذى تطلقه البراكين غير معروف بالضبط ولكن من الممكن أن يكون مستمدا من المياه المحجوزة فى صخور باطن الارض منذ نشأتها الأولى أو أنه ينشأ نشأة جديدة عندما يمتزج الايدروجين الذى ينطلق من البراكين والذى كان واقعا تحت ضغط شديد ، بأوكسوجين الهواء . ويطلق العلماء على هذه المياه اسم المياه الجديدة Juvenile Water . وقد يكون بعض البخار المنطلق من البركان مستمدا كذلك من مياه البحار أو غيرها من المياه السطحية التى استطاع بعضها أن يتسرب إلى أعماق كبيرة فى قشرة الأرض . وهكذا فان المياه التى تتكون

من البخار المنطلق من البراكين تعتبر ، ولو بصورة جزئية ، مياها جديدة تضاف إلى مياه سطح الأرض ، وهذا يؤكد القول بأن الثورانات البركانية العنيفة التي حدثت بكثرة في المراحل الأولى لتاريخ الأرض قد ساهمت مساهمة كبيرة في تكوين مياه البحار والمحيطات .

أما بقية الغازات فبعضها قابل للاشتعال مثل الايدروجين . وعندما تختلط هذه الغازات بأوكسوجين الهواء فانها تشتعل فجأة ويتكون من اشتعالها اللهب الذي يشاهد فوق الفوهة . ويلاحظ أن الغازات التي تنطلق من البراكين ليست ثابتة لا في أنواعها ولا في كمياتها ، فهي تختلف من بركان إلى آخر بل وفي البركان الواحد أثناء مراحل ثورانه في المرة الواحدة أو في المرات المختلفة . كما أن خروجها قد يستمر بهدوء نسبيا من بعض فوهات البراكين لعشرات بل لمئات السنين . ومثال ذلك بركان استرامبولي في جزر لاباري في جنوب إيطاليا حيث تنطلق منه بعض الغازات باستمرار فتشتعل عند قمته معطية ضوءاً مستمرا . وقد اشتهر هذا البركان لهذا السبب باسم « فنار البحر المتوسط » وقد يصحب الغازات التي تخرج منه في بعض الأحيان خروج اللافا المنصهرة بشكل ثورانات خفيفة متقطعة .

السحابة البيلية Polean Cloud . وقد يحدث أن تكون الغازات المنطلقة من فوهة البركان كثيفة جدا ومختلطة بكميات كبيرة من الغبار والرماد وغيرها من المقذوفات الصلبة، فيظهر هذا الخليط بشكل سحابة ضخمة كثيفة داكنة وشديدة الحرارة جدا . فاذا كانت الغازات مندفعة من فتحة جانبية فان هذه السحابة تندفع أفقيا فوق سطح الأرض بسرعة شديدة فتقضي عند اندفاعها على كل مظاهر الحياة والعمران التي في طريقها . وتشتهر بعض البراكين بهذه السحب وخصوصا بركان بيليه Mont Pelee في جزيرة

المرتين Martinique في البحر الكاريبي ، ففي أحد ثورانات هـذا البركان (سنة ١٩٠٢) تكونت سحابة ضخمة من هذا النوع واندفعت بغازاتها السامة وحرارتها المرتفعة وبما تحمله من مواد صلبة كثيرة بسرعة تفوق سرعة أقوى العواصف فأصبحت في ثوان معدودة على كل مـا صادفها من مظاهر الحيـاة والعمران بما في ذلك مدينة سانت بيير St. Pierre التي تبعد عن البركـان بحوالي ثمانية كيلو مترات ، فدمرتها وقتلت كل سكانها البالغ عددهم حوالي ثلاثين ألفا . وهذه الحادثة بالذات هي التي وجهت نظر بعض العلماء الى الاهتمام بدراسة هذا النوع من البراكين ، فأعطوا له اسما علميا انجليزيا منسوبا الى بركان بيليه وهو « السحابة البيلية » ويقابله في اللغـة الفرنسية التعبير العلمي « نووي أردنت Nuee Ardente » .

والمعتقد أن هذه الظاهرة تحدث نتيجة لتجمع كميات ضخمة من المـواد الغازية في منطقة المهد التي تغذي البركـان خلال مدة طويلة مع إنسداد طريق خروجها إلى السطح ، ففي هـذه الحالة تتزايد كمياتها ويتزايد ضغطها حتى تستطيع في النهاية أن تشق لنفسها طريقا إلى السطح ، وقد تؤدي قوة اندفاعها وضغطها إلى القذف بالمخروط البركاني كله أو بقمته إلى أعلى ، وقد كان تكون السحب البركانية الكثيفة واضحا كـذلك في ثورانات بركـانية أخرى غير ثورانات بركـان بيليه ، ومنها بعض ثورانات بركان كراكاتوا وبركـاني فالكان Vulcan وفيزوف في جزر لاباري بجنوب ايطاليا ، ولكن سحب الغازات الكثيفة كـانت في أغلب هذه الثورانات ترتفع إلى أعلى (بخلاف ما حدث في بركان بيليه) وكـانت في بعض الأحيان تأخذ الشكل الذي يشبهه بعض الكتاب بشكل ثمرة القنبيط .

تقسيم البراكين على حسب نشاطها :

لما كانت البراكين من المظاهر الطبيعية التي لازمت الأرض منذ نشأتهـا الأولى فمن الطبيعي أن يكون بعضها أقدم بكثير من بعضها الآخر وأن يكون بعضها قد انتهى منذ زمن بعيد بعد أن استقرت المنطقة التي ظهر فيهـا

بينما يكون بعضها الآخر حديث العهد ويكون معرضا للثوران بسبب وجوده في منطقة مازالت غير مستقرة . وعلى هذا الأساس قسمت البراكين تقسيما عاما إلى ثلاثة أنواع هي :

١ — البراكين الخامدة Extinct ويقصد بها البراكين التي ظهرت في العصور الجيولوجية المختلفة ثم توقف نشاطها منذ زمن بعيد ولم يعد يبدو عليها أي مظهر من مظاهر النشاط ، بل ولم يعد من المحتمل أن يظهر عليها أي نشاط في المستقبل بعد أن استقرت المناطق التي توجد فيها . ومثل هذه البراكين كثيرة جدا ومنتشرة في كل القارات ، وتقدر أعدادها بالآلاف ولا يزال معظمها محتفظا بشكله المخروطي الواضح .

٢ — البراكين الهادئة Dormant ، ويقصد بها البراكين التي هدأت منذ وقت قريب نسبيا مثل البراكين التي ظهرت خلال العهود التاريخية القديمة أو الوسيطة ، فمثل هذه البراكين لا تزال معرضة لأن تجدد نشاطها وتثور خصوصا إذا كانت موجودة في منطقة من مناطق الضعف المعروفة في قشرة الأرض ، وهي مناطق الالتواءات والانكسارات الحديثة .

٣ — البراكين النشطة Active ، ويقصد بها البراكين التي ثارت في عهد قريب أو التي تبدو عليها بعض مظاهر النشاط مثل خروج بعض الغازات من فوهاتها . ومثل هذه البراكين معرضة للثوران في أية لحظة . ومن أمثلتها معظم براكين جنوب إيطاليا وأهمها براكين فيزوف وإتنا واسترامبولي وبعض براكين اندونيسيا مثل بركان أجونج وبركان كراكاتوا وغير ذلك من البراكين الأخرى المنتشرة في العالم . ويبلغ مجموع هذا النوع من البراكين الهادئة (التي مازال هناك احتمال عودة نشاطها رغم طول مدة هدوئها) ٨٠٠ بركان موزعة في كل القارات ، وتعتبر هذا العدد تقريبا عبارة عن براكين نشطة بالفعل .

أسباب ثوران البراكين :

من الثابت أن ثوران البراكين ينتج عن قوى وتغيرات معينة تحدث فى قشرة الأرض أو تحتها . ولكن ليس من السهل تحديد الدور الذى تقوم به القوى والتغيرات المختلفة وعلاقة كل منها بتركيب الباطن وحركات القشرة . خصوصا وأن الثورانات البركانية لا تأخذ كما رأينا شكلا واحدا بل إنها تختلف من بركان إلى آخر ، ومع ذلك فمن المؤكد أن العوامل التكتونية وما يترتب عليها من تكسر وانثناء لها علاقة قوية بثوران البراكين لأنها قد تؤدى إلى زيادة الضغط الواقع على الماجما فى بعض المواضع وتقليله فى مواضع أخرى ، مما يؤدى إلى انصهار الماجما فى المواضع الأخيرة إن لم تكن منصهرة بالفعل ثم اندفاعها إلى أعلى بتأثير الضغط الذى تتعرض له . وهذا يتفق مع ما هو معروف من وجود كل البراكين النشطة فى الوقت الحاضر فى مناطق الضعف من قشرة الأرض ، وهى المناطق التى ما زالت غير مستقرة تماما والتى ما زالت معرضة لحدوث الزلازل ولذلك فإن هناك تطابقا كبيرا بين توزيع البراكين وتوزيع الزلازل فى العالم .

وبالاضافة إلى العوامل التكتونية هناك عوامل أخرى يمكن أن تتدخل فى الثوران البركانى وفى تحديد طبيعته ومن أهمها التركيب الصخرى للمنطقة وتجمع الغازات والأبخرة فى تركيبات خاصة تحتبس فيها ويكون لها فى هذه الحالة ضغط شديد جدا ، فإذا ما سنحت لها فرصة للانطلاق فإنها تنطلق بقوة وتندفع وراءها كميات من الماجما المنصهرة ، كما تحمل عند انطلاقها كثيرا من الأتربة وأجزاء الصخور التى توجد فى طريقها ، وإذا حدث وتسربت المياه السطحية وخصوصا مياه البحار إلى أعماق كبيرة ووصلت إلى تكوينات الماجما فإنها تتبخر فجأة ويؤدى تجمع البخار إلى تزايد ضغطه مما يساعد على حدوث الثوران البركانى . ومن الأدلة المهمة التى تذكر لترجيح هذا الرأى أن معظم

البراكين النشطة موجودة بالقرب من البحر ، وأن بخار الماء ينطلق منها عند ثورانهـا بكميات ضخمة تؤدى إلى سقوط الأمطار بغزارة فى منطقة البركان .

غطاءات اللاقا LAVA SHEETS

وهى عبارة عن هضاب متسعة مكونة من اللافا المستمدة من الماجما المنصهرة بعد خروجها الى السطح من طريق شق أو أكثر من شقوق القشرة Fissures ، وأهم مايميزها عن المخروطات البركانية أن المواد المنصهرة التى كونتها لاتخرج إلى السطح عن طريق فتحة مركزية بل من طريق شقوق عديدة وأن خروجها لايكون مصحوبا بأى انفجارات بل يكون [illegible] انسيابات هادئة ، وأنها لاتشكل أى مخروطات ظاهرة بل تتوزع على مساحة كبيرة من سطح الأرض وتتراكم منها طبقات متتالية كلما تكرر خروج اللافا القاعدية (البازلتية) التى تتميز بسيولتها ، وهذا هو السبب فى انتشارها على مساحات كبيرة ، وقد يصل سمك كل طبقة من الطبقات المتراكمة الى بضعة أمتار إلا أن سمكها الكلى قد يصل الى ألف متر أو أكثر ، وتتكون منها فى هذه الحالة هضاب [illegible] الارتفاع والامتداد .

ومن أمثلة غطاءات اللافا التى تكونت بهذه الطريقة الغطاء الضخم الذى يشغل مساحة كبيرة فى غرب الولايات المتحدة ويشغل قسما كبيرا من ولايات واشنطن وأوريجون وأيداهو ، ويبلغ مساحته حوالى نصف مليون كيلو متر مربع ، وكذلك الغطاء الذى يشغل مساحة واسعة فى شمال غرب هضبة الدكن ويطلق عليه اسم مصاطب الدكن Deccan Traps وتبلغ مساحته حوالى نصف مليون كيلو متر مربع ، و[illegible] لك الغطاءات التى تغطى منطقة واسعة فى شمال شرق أيرلندة ، والتى تغطى منطقة واسعة كذلك فى جزيرة أيسلنده (راجع شكل ٣٣)

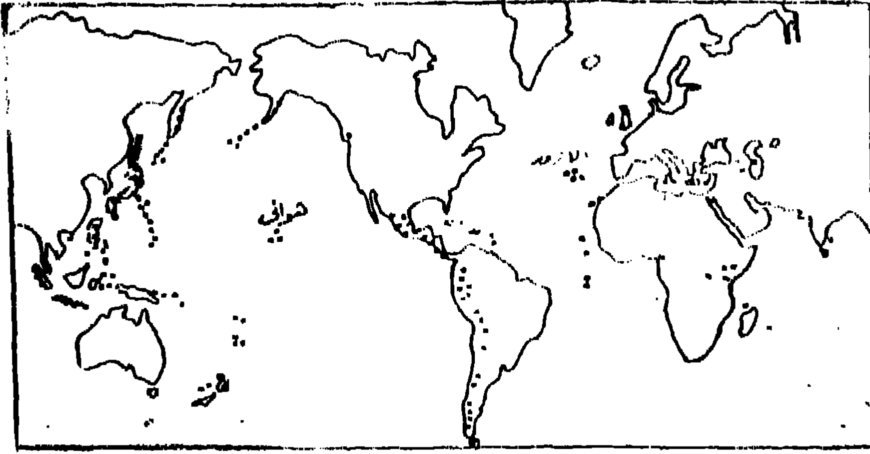
النطاقات الرئيسية للبراكين :

إن أهم النطاقات البركانية فى العالم هو النطاق الذى يمتد حول المحيط الهادى والذى يشتهر لهذا السبب باسم «الحلقة النارية» فنى هذا النطاق يوجد حوالى ٨٨ ٪ من براكين العالم ، بعضها نشط وبعضها خامد أو هادىء . ويمكننا أن نتتبع هذا النطاق من البراكين ابتداء من جنوب أمريكا الجنوبية نحو الشمال على طول جبال الانديز حتى أمريكا الوسطى والمكسيك ، ويوجد فى جبال روكى عدد كبير من البراكين الخامدة ، ولكن أغلبها لم يخمد إلا فى أزمنة حديثة نسبيا . ثم تظهر البراكين النشطة مرة أخرى فى ألاسكا . ومن هنا يواصل النطاق امتداده فى جزر ألوشيان وشبه جزيرة كمتشتكا ثم فى جزر كوريل واليابان وفرموزة والفلبين حتى مجموعة جزر ملقا Moluccas .

وهناك نطاق آخر يمتد عبر جزر أندونيسيا ويكاد يتصل بالنطاق السابق عند جزر ملقا . وهو يبدأ فى جنوب برما ويمتد عبر جزر اندمان وسومطرة وجاوة وايريان وجزر سليمان حتى نيوزيلندة . ويعتقد البعض أن مجموعة البراكين الخامدة التى توجد فى القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) ، ومن أبرزها بركان إرببوس Mount Erebus ليست إلا امتدادا لهذا النطاق .

وهناك عدد من البراكين النشطة فى مجموعات الجزر التى تنتشر فى وسط المحيط الهادى ، كما هى الحال فى جزر ساندوتش Sandwich ، وتانجا Tonga وساموا Samoa . ويلاحظ أن مجموعات الجزر التى فى وسط هذا المحيط يرجع بعضها إلى أصل بركانى بينما ينتمى بعضها الآخر إلى أصل مرجانى وتعتبر جزر فيجى من نوع الجزر البركانية ، ولكن لم يعد يظهر بها أى نشاط بركانى فى الوقت الحاضر .

ويوجد نطاق آخر من البراكين يمتد من الشرق إلى الغرب فى جنوب



شكل (٨٤) توزيع البراكين فى العالم

قارتى آسيا وأوروبا، ففى آسيا يوجد عدد من المخروطات البركانيه فى المنطقة التى تلتقى عندها حدود إيران بحدود أفغانستان وبلوخستان، ومعظمها براكين خامدة ولكن بعضها ما زالت تخرج منه بعض الغازات الكبريتية من وقت إلى آخر . ويوجد كذلك عدد من البراكين الخامدة فى بلاد القوقاز ومن أشهرها جبل البرز Elburz فى القوقاز وجبل أرارات فى أرمينيا .

وتعتبر مجموعة البراكين التى فى جنوب ايطاليا وأهمها فيزوف واتنا واسترامبولى من أشهر براكين العالم التى ما زالت نشطة . ويشتهر بركان استرامبولى فى الوقت الحاضر باسم فنار البحر المتوسط بسبب اللون الأحمر للحمم التى ما زالت تخرج من فوهته ، والتى ينعكس ضوؤها على سحب الدخان التى فوقه . ويوجد هذا البركان فى جزر لابارى Lapari Islands بقرب الطرف الجنوبى الاقصى لشبه الجزيرة الايطالية ، وتنبثق اللافا من فوهته انبثاقا هادئا بمعدل مرة كل ساعة أو أقل قليلا .

ويوجد فى جزر الهند الغربية عدد من المخروطات البركانية وخصوصا

فى جزر أنتيل الصغرى التى ترجع فى جملتها إلى أصـل بركانى . ومعظم البراكين هنا من النوع الخامد ، ولئن كـان بعض منها ما زالت تبدو عليـه مظاهر النشاط .

وبالاضافة إلى النطاقات البركانية الكبرى التى وصفناها يوجد عدد من البراكين فى أيسلنده التى تعتبر فى الواقع جزءا من نطاق بركانى قديم كان يمتد من جرينلاند فى الغرب حتى شمال أيرلنده فى الشرق . وتعتبر جزر آزور ومديرا والرأس الأخضر (كيب فرد) والكناريا كلها من أصل بركانى ولكن كل براكينها قد خمدت فى الوقت الحاضر ، ومع ذلك فقد حدثت خلال بعض العهود التاريخية بعض الثورانات البركانية فى جزر الكناريا .

بعض مظاهر النشاط الاخرى الشبيهة بالبراكين :

ذكرنا أن النشاط البركانى بمعناه الواسع يمكن أن يشمل خروج أى مادة من باطن الأرض إلى السطح أو من طبقات القشرة العميقة نتيجة لحدوث أى تغيرات لها علاقة بالباطن ، ولهـذا فمن الممكن أن نضم إليـه بعض الظاهرات الأخرى الشبيهة بالبراكين وأهمها :

١ ـ البراكين الطينية : وهى عبارة عن براكين تخرج منها ميـاه طينية تختلط بها كثير من الغازات الكربونية . فعند اندفاع هـذه الغازات من الطبقات العميقة للقشرة تندفع معها أحيانا بعض المياه الجوفية ، فاذا ما صادفت هذه المياه عند خروجها رواسب طينية فانها تختلط بهـا وتخرج إلى السطح بشكل نافورة مياه طينية شديدة الحرارة . وتوجد هـذه البراكين عادة فى المناطق الغنية بالبترول بسبب تجمع كثير من الغازات الكربونية تحت طبقات القشرة ، ولذلك فان ظهورها يعتبر فى الغالب دليلا قويا على وجود البترول فى المنطقة .

وقد يكون انفجار البركان الطينى قويا جدا كما يحدث فى الثورانات البركانية العادية مع اختلاف المواد التى تخرج فى الحالتين. وقد حدث فى شهر مارس سنة ١٩٥٩ أن ظهر بركان طينى فى جزيرة سخالين فى بقعة لم يكن قد حدث فيها أى ثوران بركانى من قبل. وقد بدأت الظاهرة بحدوث ارتفاع فى قشرة الأرض فى قاع أحد الوديان وظهوره بشكل قبة. وبعد ذلك بدأ اندفاع الغازات والمواد الطينية بكثرة وصحبها حدوث انفجارات عنيفة.

٢ ـ العيون والنافورات الحارة Hot Springs and Geysers :

تعتبر هذه العيون والنافورات من الظاهرات التى لها من غير [illegible] العلاقة بباطن الأرض ومصدر المياه الحارة هو المياه التى تتسرب فى شقوق القشرة الأرضية وتصل إلى أعماق كبيرة درجة حرارتها مرتفعة، وتظهر العيون والنافورات إذا وجدت هذه المياه طريقا يوصلها إلى السطح، وقد تذيب المياه عند خروجها بعض الأملاح مثل أملاح الكبريت التى جعلت لها قيمة طبية فى بعض الأماكن، ومن أمثلتها مياه عيون حلوان فى مصر، وعين السخنة فى جنوب السويس وعين حمام فرعون فى شبه جزيرة سينا وتخرج المياه الكبريتية من العين الأخيرة فى درجة حرارة ٧٣° مئوية تقريبا.

وإذا كانت المياه الحارة واقعة تحت ضغط شديد فانها تندفع بعد وصولها إلى سطح الأرض إلى ارتفاع قد يصل إلى ٩٠ مترا أو أكثر. وأشهر المناطق بنافوراتها الحارة هى جزيرة أيسلندة التى يوجد بها حوالى مائة نافورة من هذا النوع، كما يوجد عدد من هذه النافورات فى منطقة يلوستون بارك Yellowstone Park فى إقليم جبال روكى بالولايات المتحدة، ويوجد عدد آخر فى نيوزيلنده وفى مناطق أخرى كثيرة متفرقة فى العالم.

الباب الخامس

العوامل الخارجية التى تساهم فى تشكيل سطح اليابس

الفصل الثالث عشر

التجـــوية

WEATHERING

تمهيـد عام :

بالإضافة إلى العوامل التكتونية التي سبق شرحها فان الصخور التي تتكون منها سطح الأرض تخضع كذلك لفعل عوامل خارجية كثيرة ومتنوعة يؤثر كل منها في الصخور بشكل خاص وإن كان من النادر أن يكون تأثير أي منها مستقلا عن تأثير غيره، والغالب هو أن يعمل أكثر من عامل من هذه العوامل في المكان الواحد في وقت واحـــــد ، وليس المظهر الجيومورفولوجي لأي منطقة مـن المناطق إلا نتيجة لتضافر مجموعة معقـدة من العوامل الباطنيـة والخارجية على حد سواء . ومن الواضح أن المقصود بالعوامل الخارجية هو العوامل التي لا علاقة لها بحركات الباطن بل ترتبط بظروف المناخ والميـاه الجارية والتغيرات الكيميائية والميكانيكية التي تحدث على السطح

وتنقسم العمليات التي تقوم بها العوامل الخارجية في تشكيل سطح الأرض إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي :

عمليات التجوية Weathering : ويقصد بها عمليات تفكك الصخور وتفتتها أو تحللها مع بقائها في أماكنها .

٢ ـ عمليات النحت والنقل والارساب : وهي تمثـل سلسلة من العمليات التي تبدأ بعملية نحت الصخور Erosion أو تجويتها ، ثم نقل المـــواد المفتتة Transportation إلى أماكن أخرى بواسطة الرياح أو الميـاه أو الجليد أو غيرها وتنتهي بترسيب هذه المواد في الأماكن الجديدة Deposition . وهذه

العمليات هي التي يطلق عليها في مجموعها اسم « التعرية Denudation » ويطلق على العوامل التي تسببها اسم « عوامل التعرية » وذلك على الرغم من أن العملية الأخيرة منها وهي عملية الإرساب ليست في الواقع عملية تعرية ، بل أنها على العكس من ذلك عملية تغطية وبناء Aggradation ونظرا لأن العمليتين الأولى والثانية وهما عمليتا النحت والنقل يؤديان إلى تآكل وتخفيض سطح الأرض فانهما هما اللتان يشملهما تعبير « التحات Degradation » .

٣ ـ الانهيارات التي تتعرض لها طبقات الصخور وتكوينات التربة : وهي لا تعتبر من عمليات التعرية على الرغم من وجود بعض الشبه في النتائج التي تترتب على كل منها ، وذلك بسبب اختلاف طبيعة كل منها واختلاف العوامل التي تتدخل في حدوثها .

تعريف التجوية :

المقصود بالتجوية هو تفكك الصخور وتفتتها أو تحللها وهي في موضعها in situ أي دون أن يتغير موضع المواد المتفككة أو المفتتة أو المنحلة . ومن الواضح أن تفكك الصخور وتفتتها هما عمليتان آليتان أو طبيعيتان أما تحللها أو تحلل معادنها فهي عملية كيمائية ، وبناء على ذلك فإن هناك نوعين من التجوية أحدهما آلي أو طبيعي والثاني كيمائي . وعلى الرغم من هذا التقسيم فمن النادر أن يحدث أي نوع منهما بمفرده ، والغالب هو أنهما يحدثان معا ، ولكن قد يكون أحدهما سائدا على الآخر ويكون تأثيره أكبر وأوضح منه . ويتوقف ذلك على مدى توفر الظروف الملائمة لأي منهما في البيئات المختلفة .

ومن الواضح أن عمليات التجوية مختلفة تماما عن عمليات التعرية ، ومع ذلك فان هناك علاقة قوية بينهما لأن كلا منهما تساعد الأخرى على القيام بدورها فمن المؤكد أن عوامل التعرية تستطيع أن تنحت الصخور التي أضعفتها أو فككتها التجوية بدرجة أكبر من نحتها الصخور التي لم تتأثر بها ، كما أنه من

التوكيد من ناحية أخرى أن إزالة عوامل التعرية للأجزاء الصخرية التى تفككت وتفتتت بواسطة التجوية يؤدى إلى كشف سطوح جديدة من الصخر فتقوم التجوية بإضعافها وتفتيتها من الأخرى ، ومعنى ذلك أن هناك تضافرا بين عمليات التجوية وعمليات التعرية على تشكيل سطح الأرض .

العوامل التى تتحكم فى التجوية :

إن العوامل التى تتحكم فى التجوية كثيرة ومتشابكة ، وليس من السهل أن نفصل الدور الذى يقوم كل عامل منها فى تشكيل سطح الأرض من الدور الذى يقوم به غيره من العوامل بما فى ذلك عوامل التعرية ، ومع ذلك فمن الممكن أن نقسم العوامل التى تؤثر فى التجوية إلى أربعة أقسام هى :

١ — تركيب الصخر . Structure of the Rock

٢ — العوامل المناخية . Climatic Factors

٣ — طوبوغرافية سطح الأرض . Surface Topography

٤ — العوامل الحيوية . Biological Factors

أولا — تركيب الصخر : يشمل هذا التركيب بمعناه الواسع كل ما يتعلق بالتركيب المعدنى والكيميائى للصخر ، ونسيجه (أى حجم الحبات التى يتكون منها ونظام تكتلها) ، وكيفية وجوده فى تراكيب طبقية أو غير طبقية ، وما يوجد به من مناطق ضعف مثل الفاصل والشقوق والأسطح الطبقية وغيرها .

فالمعادن التى تدخل فى تركيب الصخر لها دخل كبير فى تحديد نوع التجوية التى تؤثر فيه وقوة تأثيرها ، وذلك على حسب طبيعة هذه المعادن من حيث سرعة تمددها بالحرارة وتقلصها بالبرودة ومبلغ قابليتها للذوبان فى الماء أو الأحماض . وعلى هذا الأساس فإن هناك تباينا كبيرا بين المعادن فى

مقدرتها على مقاومة التجوية أو مقاومة أحد نوعيها . فاذا أخذنا الصخور النارية مثلا نجد أن بعض معادنها مثل الأوجيت والأوليفين سريعة التأثر بالتجوية فى حين أن بعضها مثل الكوارتز والبيوتيت لا تكاد تتأثر بها .

وقد لوحظ بصفة عامة أن الصخور القاعدية أسهل تأثرا بالتجوية من الصخور الحمضية ، وأن لون المعدن له دخل فى درجة تأثره بالتجوية ، وأن المعادن الداكنة أسرع تأثرا من المعادن ذات الألوان الفاتحة . والصخر الذى يتكون من معادن تتباين فى درجة تأثرها بالتجوية يكون تفككه وتفتته أسرع من الصخر الذى يتكون من معادن تتأثر بها بدرجات متساوية أو متقاربة ولئن كان من بين مركبات الصخر أملاح قابلة للذوبان فى الماء فإن تأثير المياه فى تجويتها أسرع مما لو كان الصخر خاليا منها .

وفيما يختص بنسيج الصخر فمن الواضح أنه كلما كان هذا النسيج خشنا (أى كانت الحبات التى يتكون منها كبيرة) كان الصخر أكثر تأثرا بالتجوية مما لو كان نسيجه دقيقا ، لأن النسيج الخشن يسمح بتسرب المياه وتوغل المؤثرات الجوية إلى داخل الصخر أكثر من النسيج الدقيق . كما أن وجود المفاصل والشقوق وسطوح الانفصال فى الصخر يساعد كذلك على سرعة تأثره بالتجوية ، لأنها هى الأخرى تؤدى إلى توغل تأثير عوامل التجوية إلى الأجزاء الداخلية من الصخر بالإضافة إلى تأثيرها على أجزائه السطحية .

ثانيا — العوامل المناخية : إن أهم العوامل المناخية التى لها علاقة بالتجوية هى درجة الحرارة والرطوبة ، فهذان العاملان هما اللذان يحددان نوع التجوية الذى يسود فى أى منطقة من المناطق وسرعة تأثر الصخور بها . وقد لوحظ بصفة عامة أن التجوية الآلية تسود فى المناخ البارد والمناخ الجاف بينما تسود التجوية الكيميائية فى المناخ الرطب ، سواء أكان حارا أو باردا . ولكن على

الرغم من ذلك فمن النادر أن يوجد نوع واحد من التجوية بمفرده فى أى اقليم من الأقاليم . ففى الأقاليم الباردة مثلا تسود التجوية الآلية التى يسببها تكرار عملية تجمد الماء وانصهارها فى داخل مسام الصخور ومفاصلها وشقوقها ، ومع ذلك فان التجوية الكيميائية توجد فى هذه الأقاليم كذلك بدرجة قد لا تقل عنها فى الأقاليم الباردة ، وتفسير ذلك هو أن انخفاض درجة الحرارة فى هذه الأقاليم يعوضه أن غاز ثانى أوكسيد الكربون ، وهو أحد الغازات الأساسية فى التجوية الكيميائية ، يكون ذوبانه فى الماء البارد أسرع من ذوبانه فى الماء الدافىء حتى أن سرعة ذوبانه فى درجة حرارة ٢٠° تكون حوالى نصف سرعة ذوبانه فى درجة قريبة من درجة التجمد .

وكذلك فى الأقاليم الجافة وخصوصا الأقاليم الصحراوية، تسود التجوية الآلية التى يسببها ارتفاع المد الحرارى فى هذه الأقاليم ، وتعرض الصخور لتتابع التمدد والانكماش بسبب الفروق الحرارية الكبيرة بين الليل والنهار . وهذا هو العامل الرئيسى للتجوية فى هذه الأقاليم . ومع ذلك فإن التجوية الكيميائية تلعب دورا هاما فى هذه الأقاليم . فمهما كانت الصحارى جافة فإن هواءها يحمل دائما بعض بخار الماء . وفى كثير من المناطق وخصوصا المناطق الساحلية يتكثف هذا البخار بشكل ندى أو ضباب ، كما أن الأمطار قد تستطيع ، على الرغم من ندرتها أن تبلل الأرض ، بل وقد تتجمع لفترات طويلة نسبيا فى بعض الوديان والمنخفضات، كما أن المياه الجوفية فى هذه الاقاليم تقترب أحيانا من سطح الأرض بل وقد تتكون منها فى بعض المنخفضات بحيرات دائمة . وكثيرا ما يحدث أن ترتفع المياه الجوفية فى المنخفضات إلى السطح بواسطة الخاصية الشعرية ، فتتبخر وتتكون منها مسطحات ملحية أو سبخات ، وقد يحدث العكس وتتسرب بعض المياه السطحية فى مسام الصخور وشقوقها فتترك بعد تبخرها رواسب ملحية داخل هذه الصخور . وهكذا

نجد أن الرطوبة اللازمة للتجوية الكيميائية موجودة فى كثير من الحالات فى الأقاليم الصحراوية ، ولذلك فإن هـذا النوع من التجوية يؤدى دوره فى هذه الأقاليم جنبا إلى جنب مع التجوية الآلية .

ثالثا ـ طوبوغرافية سطح الارض : فمن المعروف أن هذا العامل هو الذى يحدد مساحة السطح المعرض للتجوية ، كما أنه هو الذى يتحكم فى توزيع الأمطار وتصريف المياه وتوزيع الحياة النباتية فى المنطقة . وقد لوحظ بصفة عامة أن المنحدرات الشديدة أكثر ملاءمة للتجوية الآلية من الأراضى المنخفضة بينما تكون الأخيرة ، وخصوصا فى الأقاليم الرطبة ، أكثر ملاءمة للتجوية الكيميائية .

العوامل الحيوية : تتدخل الكائنات الحية بمختلف أنواعها ، نباتيـة كانت أو حيـوانية فى التجوية بنوعيها الآلى والكيميائى بطرق متعددة ، فالحيـاة النباتية مثلا لهـا دور مهم فى التجوية الآلية لأنهـا عندما تتعمق بجذورهـا فى الصخور المختلفة ، سواء منها ما يوجد تحت التربة أو ما هو ظاهر على السطح ، فإنها تضعف هذه الصخور وتعمل على تفككها ، وكلما كان النبات من نوع الأشجار أو الشجيرات التى تتميز بجذورها الخشبية القوية كلما كان لهـا دور أكبر فى التجوية الآلية ، فبالإضافة إلى إضعافها للصخور وتفكيكها لها ، فإنها تعمل كذلك على توسيع الشقوق والمفاصل الموجودة فيها فتزيد من تعرضها لعوامل التعرية ولعوامـل التجوية فى نفس الوقت ، ومـع ذلك فإن النباتات تقوم بدور آخر مهم وهو حمـاية التربة من أخطار التعرية بمختلف أنواعهـا وخصوصا من التعرية المائية على منحدرات الجبال .

أما دور النباتات فى التعرية الكيميائية فيتلخص فى أن النبـاتات تأخذ من التربة ومن الصخور ما يلزم لهـا من أملاح ولكنها تعطيها من ناحية أخرى بعض عناصرها العضوية ، كما أن البقـايا النباتية التى تتحلل من التربة بواسطة

البكتريا تؤدي إلى تكوين بعض الأحماض العضوية وبعض ثاني أكسيد الكربون وقليل من النشادر وحامض النيتريك ، وعندما تختلط هذه المواد بالماء فإنها تساعده على إذابة بعض العناصر المعدنية التي لا تذوب في الماء العادي مثل الليمونيت .

أما فيما يختص بالدور الذي تقوم به الحياة الحيوانية في التجوية فإن له هو الآخر مظاهر مختلفة . فالحيوانات الحفارة Rodents والديدان والنمل كلها تقوم بعمليات تفتيت لا يستهان بها في كثير من المناطق ، فقد لوحظ مثلا أن بعض الديدان تتغذى على التربة لتمتص منها ما يلزمها من غذاء ثم تخرجها بعد ذلك ، وقد قدر بعض الباحثين عدد الديدان التي توجد في فدان واحد من الأرض بنحو ١٥٠ ألف دودة ، وأن هذا العدد يستطيع أن يخرج في سنة واحدة حوالي خمسة عشر طنا من المواد الناعمة التي لم يهضمها ، ومثل هذا يقال كذلك على النمل المشهور باسم النمل الأبيض Termite والذي تشتهر به الأقاليم المدارية في أفريقيا وأمريكا الجنوبية فهو الآخر ذو قدرة عجيبة على تفتيت الصخور وقلب التربة بل وعلى هدم المباني . ومما لا شك فيه أن مجرد حركات الحيوانات وحركات الإنسان نفسه ، سواء على أقدامه أو في آلياته المختلفة ، كلها تلعب أدوارا مهمة في تفتيت الصخور ، فإذا أضفنا إلى ذلك ما يقوم به الإنسان من تكسير وتفتيت متعمدين لصخور سطح الأرض وغير ذلك من مظاهر نشاطه أمكننا أن ندرك مبلغ أهمية الدور الذي تقوم به الحياة الحيوانية عموما في التجوية الآلية . أما دورها في التجوية الكيميائية فإنه ينتج عن قيامها بوظائفها العضوية المختلفة ، وخصوصا عمليات الإفراز وما ينتج عنها من عمليات تحلل كيميائي تؤثر بدورها في الصخور . كما أن الموت المستمر لكل الكائنات الحيوانية وتحلل أجسادها في الأرض يؤدي هو الآخر إلى حدوث كثير من عمليات التجوية .

أهم عمليات التجوية ومظاهرها :

تتضمن التجوية عموما ، سواء منها التجوية الآلية أو التجوية الكيميائية، عمليات متباينة، وتأخذ مظاهر متباينة كذلك ، ونأتي إلى عرض سريع لأهم هذه العمليات ومظاهرها .

عمليات التجوية الآلية ومظاهرها :

١ ـ التقشر Exfoliation : ويقصد به انفصال الأجزاء الخارجية من الصخر بشكل قشور تبقى على سطحه إلى أن تسقط أو تزيلها عوامل التعرية، وعندئذ ينكشف سطح جديد من الصخر يتعرض للتقشر بنفس الصورة . ويحدث التقشر بصفة خاصة في الصخور النارية (مثل الجرانيت) وغيرها من الصخور التي توجد بها خطوط ضعف موازية للسطح . والسبب الرئيسي للتقشر هو أن تأثير تتابع الحرارة والبرودة وما يترتب عليه من تتابع التمدد والتقلص لمواد الصخر يكون أقوى عند سطحه منه في الأجزاء الداخلية ، لأن الصخور عموما رديئة التوصيل للحرارة ، ولذلك فإن الطبقة السطحية تنفصل بالتدريج عن الطبقة التي تحتها على طول خطوط الضعف وتظهر بشكل قشور تسقط من نفسها بسبب الجاذبية إذا كانت على الجوانب أو تزيلها المياه والرياح إذا كانت على السطح العلوي ، وللتدليل على أهمية تتابع التمدد والتقلص في تجوية الصخور بصفة عامة وفي تقشرها بصفة خاصة أجرى بعض الباحثين تجارب على بعض الصخور مثل الجرانيت الذي يعتبر من أكثر الصخور تأثرا بهذه العملية . ففي إحدى التجارب العملية تبين ، على سبيل المثال ، أننا لو رفعنا درجة حرارة كتلة من هذا الصخر قطرها ثلاثون مترا بمقدار ٨٣ درجة مئوية فإنها تتمدد بمقدار سنتيمترين ونصف تقريبا ، وأنها تنكمش بنفس النسبة لو انخفضت درجة حرارتها بنفس المقدار .

ويرى بعض الباحثين أن التقشر الذي يحدث كذلك في الصخور إذا فقدت المادن التي تتكون منها استقرارها Stability ، ويحدث ذلك إذا تغيرت ظروف الضغط والحرارة التي نشأت فيها هذه الصخور . وهذا هو ما يحدث عادة عندما يخف الضغط الواقع عليها بسبب إزالة الطبقات التي فوقها أو بسبب التكسر والتشقق والمفروض هو أن فقدان المادن لاستقرارها يؤدي إلى حدوث ضغوط داخل الصخر مما يؤدي إلى إضعافه وتقشره . ولكن بينما يرى بعض الباحثين أن تأثير هذا العامل مقصور على الصخور الجوفيـة فان بعضهم الآخر يري أن تأثيره يوجد كذلك على السطح ، وخصوصا على جوانب الشقوق والفاصل .

٢ ــ <u>التفكك بسبب تجمد المياه أو ترسب الاملاح داخل الصخر</u> : يحدث تجمد المياه بكثرة في الأقاليم البـاردة أما ترسب الأملاح فيحدث بصفة خاصة في الأقاليم الصحراوية . والواقع أن عمليه تجمد المياه في داخل شقوق الصخور ومسامها هي أقوى عمليات التجوية الآلية في الأقاليم الباردة ، لأن تجمد المياه يؤدي إلى زيادة حجمها بنسبة ١٠ ٪ تقريبا من حجمها الأصلي ، ويؤدي ذلك بالتالي إلى زيادة ضغطها زيادة كبيرة جدا . ويقدر الضغط الذي يسببه تجمـد المياه في داخـل الصخور بنحو الفي رطل على كل بوصة مربعـة من السطح الملامس لها . ولا شك أن تكرار هذه العملية يؤدي إلى إضعاف الصخر وتفككه ، وكلما كانت شقوق الصخر ومفاصله ومسامـه كبيرة وكانت به سطوح طبقية واضحة كان تفككه أسرع .

أما ترسـيب الأملاح فإنه يحـدث في الصحارى عنـدما تتبخر الميـاه التي تتسرب في داخل الصخر ، حيث يؤدي ذلك إلى تكون البلورات الملحيـة التي يكون لها كذلك ضغط كبير نسبيا ، كما أن تكرار ذوبانها وترسبها في حد ذاته يعتبر عاملا من عوامل إضعاف الصخر وتجويته .

٣ ـ التفكك والتفتت بفعل الكائنات الحية . إن تأثير الكائنات الحية بمختلف مراتبها في التجوية له مظاهر عديدة ليس من السهل حصرها ، ويكفي أن نعيد الإشارة هنا إلى ما سبق أن ذكرناه من أن جذور النباتات وخصوصاً النباتات ذات الجذور الخشبية تعمل على توسيع شقوق الصخر وإضعافه ، ومن أن الحيوانات الحفارة والديدان تقوم بتفتيت الصخور على نطاق واسع ، ومن أن الحيوانات الأخرى بما في ذلك أرقاها وهو الإنسان لها أدوار كبيرة في التجوية بنوعيها .

٤ ـ النزع الغروي Colloid Plucking : ويقصد به نزع أو انفصال قشرة أو طبقة رقيقة من الصخر نتيجة لانفصاله عن صخر كان ملتصقاً به بواسطة مادة لاصقة قوية . فقد ذكر أحد الباحثين حديثاً أن وجود بعض المواد الغروية وغيرها من المواد اللاصقة بين صخور القشرة الأرضية لابد أن يؤدي إلى التصاق بعض هذه الصخور ببعضها الآخر التصاقاً شديداً جداً في بعض الأحيان . فإذا ما أدت الحركات الأرضية إلى فصل مثل هذه الصخور عن بعضها فإن المادة اللاصقة قد تبقى كلها في أحد الجانبين وتنتزع معها جزءاً أو قشرة من الجانب الآخر ، وذلك بطريقة مشابهة لما يحدث باستمرار في حياتنا العادية ، عندما يلتصق جسمان لصقاً شديداً فينزع أحدهما قشرة من الآخر عند انفصالهما.

عمليات التجوية الكيميائية ومظاهرها :

تتضمن التجوية الكيميائية عمليات محددة تتباين فيما بينها تبايناً واضحاً في نوع التغيرات التي ترتبط بها والمواد التي تنتج عنها ، ومع ذلك فإن هناك نتائج عامة تشترك فيها هذه العمليات بالنسبة للتجوية . وهذه النتائج هي :

١ ـ أن كل العمليات تؤدي إلى زيادة حجم المادة التي تتأثر بها وتؤدي بالتالي إلى حدوث ضغوط داخلية Stresses في هذه المادة .

٢ ـ أن المواد التي تنتج منها تكون عموما قليلة الكثافة نسبيا .

٣ ـ تناقص في حجم الحبيبات أو الذرات التي تتكون منها المادة ، مما يؤدي إلى زيادة المساحة الظاهرة من المادة بالنسبة لحجمها .

٤ ـ تكوين مركبات معدنية جديدة .

أما أهم العمليات التي تتضمنها هذه التجوية فهي :

١ ـ التكربن Carbonation : ويقصد به ذوبان بعض الصخور مثل الصخور الجيرية في الماء المذاب فيه ثاني أوكسيد الكربون . ويحدث هذا عادة عندما تحمل الأمطار عند سقوطها بعض ثاني أوكسيد الكربون من الهواء فتتحول إلى حامض كربوني مخفف جدا ولكنه مع ذلك يستطيع أن يحول كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات كالسيوم قابلة الذوبان في الماء . ولكن من المعروف أن البيكربونات ليست من المعادن الثابتة ، ولذلك فانها تعود للترسب من جديد بعد تبخر الماء المذابة فيه وتتحول إلى توفا كلسية .

٢ ـ التأكسد Oxidation : ويقصد به اتحاد الأوكسوجين مع بعض المعادن مثل الحديد أو المواد التي يدخل في تركيبها ، فعندما تتعرض هذه المواد للهواء والرطوبة فإن الحديد يتحد مع الأوكسوجين ويتحول إلى أكاسيد حديدية يكون لونها بنيا أو مائلا للاحمرار ، وتكون هذه الأكاسيد ضعيفة المقاومة وسرعان ما تتفتت . وإذا اختلطت بالصخور أو التربة فانها تصبغها بلونها . وإذا كانت المواد الحديدية داخلة في تركيب الصخر نفسه كما هو الحال في كثير من الصخور الطباشيرية ، فان الصخر يظل محافظا على لونه الأصلي مادام بعيدا عن الهواء ولكن سرعان ما يتحول إلى اللون البني أو الأحمر بمجرد ظهوره على السطح وتعرضه للهواء .

٣ ـ الذوبان Solution : ويقصد به الذوبان البسيط للأملاح في الماء ، وتقتصر أهمية هذه العملية على الصخور التي تدخل في تركيبها أملاح قابلة الذوبان ، مما لاشك فيه أن ذوبان هذه الأملاح يترتب عليه تكوين فراغات في داخل الصخر مما يقلل من تماسكه ويجعله أكثر تعرضا للتفكك والتفتت .

٤ ـ التميؤ Hydrolysis : ويقصد به التحلل الكيميائي لبعض المعادن بواسطة الماء . وهذه العملية بالذات هي التي تؤدي إلى تحلل معادن الفلسبار وهي من أهم مركبات الصخور النارية . وعلى الرغم من أن هذا التحلل يحدث عادة في الماء النقي إلا أن سرعته تكون أكبر لو أن الماء كان يحمل بعض ثاني أوكسيد الكربون . وعملية التميؤ هذه هي العملية الرئيسية المسئولة عن تحول معادن الفلسبار إلى صلصال وكاولين .

٥ ـ التميع Hydration : ويقصد به امتصاص بعض المعادن للماء أو لبخاره من الجو مما يؤدي إلى تمددها وزيادة حجم بلوراتها ، ويؤدي ذلك بالتالي إلى حدوث ضغوط إضافية في داخل الصخر . وأوضح مثال لهذه المعادن هو سلفات الكالسيوم التي تتحول بواسطة التميع إلى جبس . ولا يعتبر الجبس على أي حال من المكونات الرئيسية للصخور ولكنه يوجد في بعض المناطق بشكل طبقات .

الاهمية الجغرافية للتجوية :

كما أن العوامل الجغرافية المختلفة مثل المناخ والتضاريس والكائنات الحية وتركيب الصخور هي التي تتحكم في عمليات التجوية فإن التجوية بدورها لها آثار مهمة على بعض المظاهر الجغرافية لسطح الأرض ، ويمكننا أن نلخص أهم المظاهر التي تتأثر بالتجوية فيما يلي :

١) تكوين التربة : فالتجوية تعتبر عاملا أساسيا في تكوين المواد المفتتة التي تتكون منها التربة وبعض الأملاح التي تختلط بها ، فعندما تتفتت الصخور

أى تتحلل موادها بالتجوية فإنها تتحول إلى مواد مفككة بعضها يذوب فى الماء ، بعضها الآخر غير قابل للذوبان ، والمواد التى تذوب فى الماء تشمل بعض العناصر التى تنفصل من بعض المكونات التى تتأثر بالتجوية الكيميائية مثل كربونات الكالسيوم وكربونات الصوديوم ، كربونات المغنيسيوم ، فعندما تذوب بعض هذه المكونات فى الماء الذى يحمل بعض ثانى أوكسيد الكربون تنفصل عنها عناصر الكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم ، وكلها عناصر يمكن أن تذوب فى الماء وتتحول إلى محاليل ، أما المواد غير القابلة للذوبان فأهمها الحصى والرمال ، الطين والصلصال وأكاسيد الحديد ، والمعروف أن هذه الأكاسيد هى التى تعطى للتربة لونها الأحمر أو البنى عندما تختلط بها .

٢) تشكيل سطح الأرض : فالتجوية تعتبر عاملا مساعدا للتعرية ، والعكس صحيح ، فهى التى تفكك صخور سطح الأرض فتعمل بذلك على تسهيل نحتها ونقل موادها بواسطة عوامل التعرية ، وتتكشف بذلك سطوح جديدة للقوى التجوية بتفتيتها . وهكذا يأخذ سطح الأرض فى الانخفاض بالتدريج . وفى المناطق المكونة من صخور جيرية أو دولوميتية قابلة للذوبان فى الماء ، وخصوصا الماء الذى يحمل بعض ثانى أوكسيد الكربون ، يكون دور التجوية فى تخفيض الارض أسرع منه فى مناطق أخرى صخورها غير قابلة للذوبان . وتتضح هذه الظاهرة بصفة خاصة فى الأقاليم المطيرة .

٣) تكوين الكهوف والأنهار السفلية : فى مناطق الصخور الجيرية يؤدى تسرب المياه الحاملة لثانى أوكسيد الكربون فى شقوق الصخور ومسامها إلى تكوين كثير من الفجوات والكهوف وغيرها من الظاهرات الكارستية ، وكثيرا ما تتصل الكهوف والفجوات بعضها ببعض تحت سطح الأرض فتتكون منها سراديب طويلة وقد تحولت مثل هذه الكهوف فى كثير من المناطق إلى خزانات ضخمة للمياه الجوفية ، كما تحولت السراديب إلى أنهار سفلية يمتد بعضها لمسافات طويلة .

الفصل الرابع عشر

التعرية الهوائية

تمهيد عام لعوامل التعرية :

لئن كان أثر العوامل التكتونية على سطح الأرض قد أخذ يضعف بمرور الزمن بسبب تزايد استقرار القشرة ولم يعد يؤثر بوضوح إلا في نطاقات الضعف التي مازالت تتعرض لبعض الحركات التي يدل عليها حدوث الزلازل وثوران البراكين ، فان العوامل الخارجية التي تمثلها عوامل التجوية وعوامل التعرية مازالت وستظل دائما تقوم بأدوار هامة في تشكيل سطح الأرض . وقد تختلف اختلافا جد وهريا عن التجوية ، فبينما لا تتضمن التجوية تحريك المواد التي تنتج عنها من أماكنها فان التعرية تتضمن عمليات كثيرة تتلخص في نحت الصخور ونقل موادها من أماكنها ومعنى ذلك أنها تؤدي وظيفتين متعارضتين إحداهما هي الكشف والهدم بواسطة نحت الصخور ونقل موادها والثانية هي البناء بواسطة ارساب المواد المنقولة في أماكن جديدة ، ولذلك فان تسميتها بالتعرية فيه كثير من التجاوز ، ولهذا السبب فإن كثيرا من الكتاب الغربيين يستخدمون تعبير Denudation للدلالة على التعرية بمعناها الشامل الذي يتضمن الهدم والبناء معا بينما يستخدمون تعبير Erosion للدلالة على النحت والهدم . وأهم عوامل التعرية بمعناها الشامل هي الرياح والمياه الجارية ومياه البحار والجليد

أهمية الرياح كعامل من عوامل التعرية

الرياح هي أهم عامل مناخي يساهم بطريق مباشر في تشكيل سطح الأرض ، ويكون تأثيره واضحا بصفة خاصة في الأقاليم الصحراوية وشبه الصحراوية لأن رياح هذه الأقاليم تكون قوية في أغلب الأوقات ولأن سطح أرضها مكشوف ولا يحميه أي غطاء نباتي يستحق الذكر ، ولهذا فقد أصبحت

الرياح هي المسئولة عن تكوين كثير من الظاهرات الطبوغرافية المنتشرة فيها . ولكن هذا لا يمنع من أن توجد في نفس هذه الأقاليم ظاهرات أخرى يرجع تكوينها إلى فعل المياه الجارية ، كما سنبين عند الكلام على الدور الذي تقوم به هذه المياه في تشكيل سطح الأرض .

ويتضمن دور الرياح في تشكيل سطح الارض (وخصوصاً في المناطق الجافة) أربع عمليات محددة هي ١) النحت (أو البرد) Abrasion ٢) الصقل بطريقة الاحتكاك Attrition ٣) التذرية والنقل Deflation ٤) الإرساب Deposition وعلى الرغم من أن كل عملية من هذه العمليات تختلف في طبيعتها وفي وظيفتها من العمليات الأخرى فإنها جميعا تؤدي أدوارها في وقت واحد . فعندما تقوم الرياح بنحت أو إزالة أجزاء من السطح فانها تحمل معها المواد الناتجة التي تكونت بسبب النحت والتجوية ثم تقوم بترسيبها في أماكن جديدة . ومعنى ذلك أن الرياح تقوم بدورين متضادين أحدهما هو النحت والهدم والثاني هو الإرساب والبناء ، وعلى هذا الاساس فان الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عنها تنقسم إلى مجموعتين ، إحداهما ناتجة عن عمليات النحت والثانية عن عمليات الإرساب والبناء .

أولا ـ النحت بواسطة الرياح :

تعتبر هذه العملية واحدة من عمليات الهدم الرئيسية التي تقوم بها الرياح ويختلف تأثيرها من مكان إلى مكان آخر على حسب قوة الرياح ومقدار ما تحمله من أتربة ورمال . لأن هذه المواد وخصوصا إن كانت رمالا خشنة ، هي الأدوات التي تساعد الرياح على برد الصخور . ويختلف تأثير هذه العملية في الصخور المتجانسة عنه في الصخور غير المتجانسة . فاذا كانت الصخور متجانسة في تركيبها ودرجة صلابتها فان عملية النحت تؤدى إلى صقلها وقد تؤدى في بعض المناطق إلى صقل مساحات كبيرة من سطح الأرض ، أما إذا كانت

غير متجانسة فإن عملية النحت تؤدى إلى تآكل الأجزاء اللينة قبل الأجزاء الصلبة فتأخذ هذه الصخور أشكالا متباينة على حسب تركيبها، وتكون عملية النحت قوية بصفة خاصة على ارتفاع قدم واحد تقريبا من سطح الأرض ، فعلى هذا المستوى تكون الرياح قوية ومحتفظة بمعظم حمولتها من الرمال وخصوصا الرمال الخشنة ، وكلما زاد الارتفاع تناقصت الحمولة وتناقص حجم الرمال وتناقصت بالتالى مقدرة الرياح على النحت . أما تحت هذا المستوى فان احتكاك الرياح بالأرض يقلل من سرعتها ويقلل بالتالى من مقدرتها على البرد والنحت ، وذلك على الرغم من أن حمولتها من الرمال تكون أكبر منها فى المستويات الأعلى .

وأهم الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن عمليات النحت بواسطة الرياح هى :

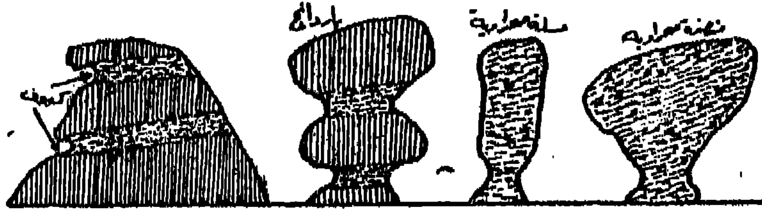
١) السطوح المجعدة . وهى سطوح صخرية غير متجانسة فى أجزائها السطحية ولذلك فإن الرياح تنحت بعض المواضع أسرع من نحتها لمواضع أخرى . والنتيجة هى أن السطح يبدو كثير التجاعيد والفجوات والثقوب ذات الأشكال المختلفة .

٢) الحمادات : وهى هضاب صحراوية صخرية قليلة الارتفاع تغطى أحيانا مساحات تبلغ مئات الآلاف من الكيلومترات المربعة ، وأهم ما يميزها هو أن سطحها صخرى لا تغطيه رواسب مفككة تستحق الذكر ، وذلك لأن الرياح تزيل باستمرار كل ما يتكون فوقها من رمال وأتربة ، ولهذا فان الحمادات تعتبر من أفقر مناطق الصحراء .

٣) المناضد والمسلات الصحراوية : وهى كتل صخرية استطاعت الرياح أن تنحت أجزاءها القريبة من سطح الأرض أسرع من نحتها للأجزاء العليا ولذلك فانها تبدو بشكل مناضد ، أو بشكل مسلات إن كانت قليلة السمك .

٤) الياردانج Yardang (أو الابراج الصحراوية): وهى كتل صخرية مكونة من طبقات متباينة الصلابة، ولذلك فقد استطاعت الرياح أن تنحت طبقاتها اللينة فظهرت بشكل أحزمة بين الطبقات الصلبة. ولفظ «ياردانج» مأخوذ من لغة سكان صحارى وسط آسيا حيث توجد هذه الظاهرة بكثرة.

٥) الكهوف الجبلية: وهى كهوف تتكون فى جوانب الجبال المكونة من طبقات صخرية متباينة الصلابة، حيث تستطيع الرياح أن تنحت الطبقات اللينة أسرع من الطبقات الصلبة، وتتكون الكهوف بصفة خاصة فى الجانب المواجه لهبوب الرياح السائدة وتساعد عملية التجوية والتعرية المائية على توسيعها.



شكل (٧٨) بعض الأشكال التى تنتج عن النحت بواسطة الرياح

٦) المنخفضات الصحراوية: وهى تشمل معظم المنخفضات (أو الأحواض) التى توجد فيها الواحات. ومن الثابت أن الرياح هى العامل الرئيسى فى تكوينها. وهى توجد غالبا على امتداد خطوط الضعف التى تفصل تكوينات صخرية متباينة الصلابة. ومن أشهرها المنخفضات التى توجد فيها واحات شمال مصر وشمال ليبيا على طول خط عرض ٢٩° شمالا. فقد تكونت هذه المنخفضات على طول المنطقة التى تلتقى عندها التكوينات الأيوسينية فى الجنوب بالتكوينات الميوسينية فى الشمال.

ويبدأ تكون المنخفض بشكل حفرة صغيرة حينما تتمكن التعرية، أو أى عامل آخر، من كسر الطبقة السطحية فى أحد المواضع، فاذا كانت هذه الطبقة

مرتكزة على طبقات أقل منها صلابة فان الرياح تأكل فى هذه الطبقات بسرعة وتترك مقدمات الطبقة السطحية الصلبة معلقة ، ولكنها لا تلبث أن تنهار . وبتكرار هذه العملية يزداد اتساع الحفرة ويزداد عمقها و تزداد نشاط الرياح فى نقل الرواسب الناعمة من قاعها فيساعد ذلك على سرعة تعميقها وتوسيعها . إلا أن هناك حدا أدنى للعمق الذى يمكن أن يصل إليه قاع المنخفض، وهذا العمق هو منسوب سطح المياه الجوفية، التى قد ينكشف سطحها فيظهر بشكل بحيرة فى وسط المنخفض . وتوجد بحيرات من هذا النوع فى كثير من منخفضات الصحراء الكبرى .

ولكن على الرغم من أن الرياح هى العامل الرئيسى فى تكوين المنخفضات الصحراوية ، فاننا يجب ألا نهمل عامل التجوية وعامل المياه الجارية ، لأنهما يعتبران كذلك عاملين مساعدين فى تكوين هذه المنخفضات .

ثانيا ـ الصقل بطريق الاحتكاك Attrition :

من الحقائق المعروفة أن حبات الرمال وحبات الحصى التى توجد بكثرة فى الصحراء تكون غالبا مصقولة وملساء والسبب الرئيسى فى ذلك هو أن تصادم الرمال التى تحملها الرياح بعضها ببعض يؤدى إلى إزالة ما بها من أركان حادة فيصبح سطحها أملسا مصقولا، كما أن اندفاع الرمال بين الحصى الذى يوجد على السطح يؤدى كذلك إلى صقل الحصى بإزالة ما به من حافات حادة ، ولهذا السبب فان سطحه يكون هو الآخر أملسا ومصقولا . وتوجد فى بعض الصحارى مثل الصحراء الكبرى مناطق واسعة يغطى سطحها بطبقة متصلة من الحصى الأملس ، وأغلبه مستمد من تجوية الصخور النارية وتطلق على مثل هذه المناطق أسماء مختلفة ، فهى تشتهر فى معظم البلاد العربية باسم مناطق «الرق» أى الحصى الصغير ، وتوجد فى شرق ليبيا منطقة واسعة من هذا النوع مساحتها حوالى ١٥٠ ألف كيلومتر مربع ويطلق عليها اسم منطقة «السرير» ، وكلمة سرير هى جمع كلمة «سريرة» ومعناها «حصوة» .

ثالثا ـ التذرية والنقل بواسطة الرياح Deflation :

المقصود بالتذرية هو رفع المواد المفككة بواسطة الهواء إلى أعلى تمهيدا لنقلها . ومن الواضح أن التذرية تؤدي بالضرورة إلى نقل المواد من أماكنها إلى مسافات صغيرة ، ولذلك فان التذرية والنقل يمكن اعتبارهما عموما عملية واحدة ، وهذا هو ما يعنيه في الواقع لفظ Deflation .

وتتوقف الطريقة التي تنتقل بها المواد المفككة بواسطة الرياح على عاملين رئيسيين هما حجم الحبات وسرعة الرياح. وهناك ثلاثة طرق لهذا الانتقال هي:

١ ـ الزحف على السطح Surface Creep : وهي الطريقة التي تنتقل بها الحبات الكبيرة ، التي لا تستطيع الرياح أن ترفعها ، ولذلك فانها تدفعها أمامها على سطح الأرض ، وهذه هي الطريقة التي تنقل بها عادة الرمال الخشنة والحصى . وربما الرمال الناعمة إذا لم تكن الرياح قوية .

٢ ـ القفز Saltation : وهي الطريقة التي تنتقل بها الحبات التي تستطيع الرياح أن ترفعها ولكنها لا تستطيع أن تحملها إلى مسافات كبيرة فانها تسقط بسبب ثقلها . وترتبط هذه الطريقة غالبا بوجود بعض التيارات الصاعدة في الهواء . وقد لوحظ أن ارتفاع الحبات يكون أسرع من هبوطها، لأن الرياح تعمل على دفعها إلى الأمام أثناء الهبوط فيكون خط سيرها لهذا السبب أشبه بقوس شديد الانحدار في قسمه الأول وبطيئة في قسمه الثاني ، وقد تقوم الحبة الواحدة بعد قفزات متتابعة ، ويساعدها على ذلك اصطدامها بسطح الأرض عند سقوطها، خصوصا إذا اصطدمت بعقبة صغيرة (حصوة أو حجر صغير مثلا) . وأقصى ارتفاع يمكن أن تقفز إليه الحبات بهذه الطريقة هو متران .

٣ ـ التعلق Suspension : ويقصد به تعلق المواد الناعمة في الهواء لمدة طويلة نسبيا ، وهذا هو ما يحدث عند انتقال الغبار والأتربة . والمعتاد هو ألا يزيد قطر الحبات التي تنقل بهذه الطريقة عن ٠,٢ ملليمتر .

وتستطيع الرياح أن تنقل الغبار الناعم لمسافات كبيرة ، وقد يبقى بعضه عالقا بالجو لعدة أشهر . ومثال ذلك ما حدث للغبار الذى أطلقه بعض البراكين فقد ذكر مثلا أن الغبار الذى انطلق من بركان كراكاتوا عند ثورانه قد ظل معلقا بالهواء حوالى سنة كاملة ، وأنه طاف حول الكرة الأرضية كلها .
وبغض النظر عن مثل هذه الحالات الشاذة ، فقد استطاعت الرياح فعلا أن تنقل بهذه الطريقة كميات ضخمة من الأتربة لبضعة آلاف من الكيلو مترات ومن أوضح الأمثلة على ذلك الأتربة التى تكونت منها تربة اللويس Loess التى تغطى مناطق شاسعة فى شمال الصين ، والتى يزيد سمكها على مائة متر . فقد تكونت هذه التربة من الأتربة التى نقلتها الرياح من غرب آسيا ووسطها وأرسبتها فى شمال الصين . وقد تكون نفس هذا النوع من التربة بنفس الطريقة فى مناطق أخرى من العالم مثل أواسط أمريكا الشمالية . ويعتبر «الهبوب» الذى يظهر فى أواسط السودان وشماله فى فصل الربيع مثالا آخر يبين مقدرة الرياح على حمل كميات كبيرة من الأتربة . وقد نقلت معظم الرمال التى تتكون منها الكثبان الرملية التى توجد بكثرة فى الصحارى بهذه الطريقة .

الارساب الهوائى والظاهرات التى تنتج عنه :

من الواضح أن عملية الارساب هى عملية تغطية وبناء ، ومع ذلك فانها لا تعمل منفردة ، لأن دورها يرتبط ارتباطا وثيقا بالعمليتين الآخرتين ، وخصوصا عملية التذرية والنقل ، فكلما كثرت كمية الأتربة والرمال التى تذروها وتنقلها الرياح كثرت كمية المواد التى ترسبها وعظم بالتالى دورها فى البناء ، والمعتاد هو أن ترسب الرياح حمولتها بالتدريج بحيث ترسب أولا الرمال الخشنة ثم الرمال الناعمة ثم الأتربة ، بينما قد يستمر الغبار الدقيق معلقا لمدة طويلة ، كما سبق أن أوضحنا .

ويتمثل دور الرياح في البناء بأشكال متباينة أهمها :

١ — تكوين بعض أنواع التربة الطينية الناعمة ، مثل تربة اللويس ، كما سبق أن بينا .

٢ — تكوين الكثبان الشاطئية التي تمتد على طول كثير من سواحل البحار ، وهي متكونة من رمال جيرية بيضاء تكونت نتيجة لترسيب طبقات من الجير حول حبيبات دقيقة من الرمال القارية التي نقلتها الرياح من اليابس . وتلعب الرياح الدور الرئيسي في توزيعها وتجميعها بشكل كثبان .

٣ — تكوين الكثبان الصحراوية وغيرها من أشكال التراكمات الرملية التي تغطي مناطق واسعة في مختلف الصحارى ، وهذه التراكمات هي في الواقع أهم المظاهر الجيومورفولوجية التي توضح الدور الكبير التي تقوم به الرياح في تشكيل سطح الأرض ، ولذلك فإننا سنلقي عليها نظرة أكثر تفصيلا فيما يلي :

التراكمات الرملية الصحراوية :

إن أهم مظاهر هذه التراكمات هي الكثبان الرملية Sand Dunes بمختلف أشكالها وأهمها : ١) الكثبان الهلالية Crescentic Dunes وهي التي تشتهر كذلك باسم البرخان Barkhans . وهي أشهر التراكمات الرملية وأوسعها انتشاراً ، وهي التي تقصدها غالباً عند الكلام على «الكثبان» . ٢) الكثبان الطولية» أو السيوف Seifs ٣) ظهور الحيتان Whalebacks . ٤) الظلال الرملية Sand Shadows (أو Sand Drifts) ٥) بحار الرمال Sand Seas .

١ — الكثبان الهلالية :

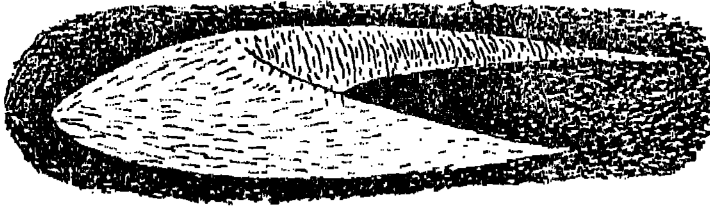
إن كلمة كثيب بمعناها الجيومورفولوجي تعني أي تل رملي له قمة محددة ووجه شديد الانحدار تنزلق عليه الرمال ويعرف باسم « وجه الانزلاق

Slip Face » وينطبق هذا بصفة خاصة على الكثبان الهلالية . وإن اللفظ الذي يطلق حاليا على الكثبان الهلالية فى معظم الكتابات الجيومورفولوجية هو « البرخان Barkhan » وهو مأخوذ من لغة سكان صحارى التركستان التي يكثر فيها وجود هذا النوع من الكثبان .

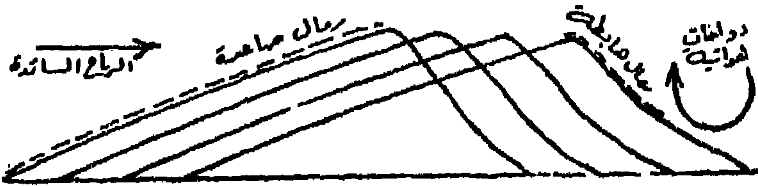
ويوجد البرخان إذا بدأت الرياح السائدة تلقي حمولتها من الرمال في أي موضع من المواضع لأي سبب من الاسباب . ولا يشترط لذلك وجود أي عقبة بل يكفي أن تحدث فترة هدوء قصيرة في حركة الرياح وأن تمر هذه الرياح على بقعة يغطي سطحها بكية من الحصي ، ففي مثل هاتين الحالتين يبدأ تراكم الرمال فتتكون منها في أول الأمر كومة صغيرة ولكنها لا تلبث أن تنمو وتتكون لها بالتدريج قمة محددة تنحدر منها الرمال فوق وجه الانزلاق Slip Face في الجانب الذى تنصرف إليه الرياح Leeward Side . ويكون انحدار الكثيب شديدا في هذا الجانب ، بينما يكون بطيئا نسبيا في الجانب الآخر المواجه لها Windward Side ، وعلى هذا الجانب تزحف الرمال إلى أعلى نحو القمة . ونتيجة لزحف الرمال على هذا الجانب وهبوطها على وجه الانزلاق يبدأ التل في التزحزح مع الرياح ، كما يأخذ شكل الهلال الذي يواجه الرياح بظهره ويمد طرفيه (أو جناحيه) نحو الجهة المقابلة ، ومعنى ذلك أن الامتداد العام للكثيب يكون متعامدا على اتجاه الرياح (شكل ٨٠) .

والسبب في تحول التل إلى هذا الشكل الهلالي هو أن مقاومة كتلته الرئيسية في الوسط تكون أكبر من مقاومة طرفيه . ولذلك فان الرياح تدفع هذين الطرفين أمامها أسرع مما تدفع الكتلة الوسطى . وبهذا الشكل يأخذ الطرفان بالتدريج اتجاها متفقا مع اتجاه الرياح وتتزايد نتيجة لذلك مقاومتها حتى تتساوى مع مقاومة القسم الأوسط ، وعندئذ يكون الكثيب قد وصل إلى آخر مراحل تطوره وأخذ شكله النهائي . ويوصف في هذه الحالة بأنه

كثيب مكتمل . ولكن ليس معنى ذلك أنه يتوقف عن التزحزح أمام الرياح . وكل ما هنالك هو أنه يتزحزح وهو محتفظ بشكله النهائي بشرط أن يظل اتجاه الرياح السائدة كما هو ، أما إذا تغير هذا الاتجاه كما في الحال في الأقاليم الموسمية ، فإن الكثبان تغير اتجاهها بحيث يكون ظهرها دائما مواجها للرياح .



شكل (٧٩) كثيب هلالي مكتمل



شكل (٨٠) عملية تزحزح الكثيب الهلالي

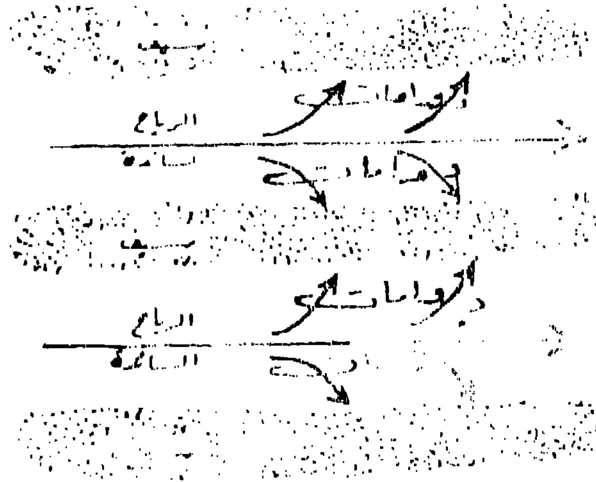
وتتميز الكثبان الهلالية بأنها تهاجر من أماكنها ببطء شديد مع اتجاه الرياح . وتتراوح سرعة تحركها بين ٨ و ١٠ أمتار في السنة . وليس هناك حجم معين للكثبان حيث أنها تتباين من مكان إلى آخر حسب توفر الظروف الملائمة لنموها ، وأهمها ثبات اتجاه الرياح وتوفر الرمال المفككة ، فحينما تتوفر هذه الظروف فإن الكثيب المكتمل قد يبلغ ارتفاعه حوالي ٢٥ مترا وطوله حوالي ٤٠٠ متر وعرضه حوالي مائة متر ، وتوجد مثل هذه الكثبان بكثرة في بعض أجزاء الصحراء الكبرى بسبب انتظام الرياح التجارية الشمالية الشرقية طول السنة وكثرة الرمال المفككة . والغالب هو أن توجد

هذه الكثبان مجموعات كبيرة وتكون ، كثير من الأحيان مرتبة فى صفوف متوازية .

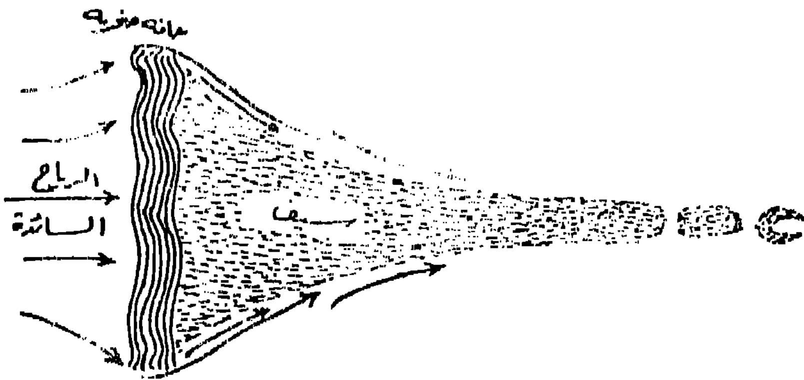
الكثبان الطولية (السيوف) :

أهم ما يميز هذه الكثبان الهلالية أن امتدادها يتفق مع اتجاه الرياح السائدة ، وأنها أقل منها تحركا ، وأنها أطول منها بكثير ، فقد يصل طول الواحد منها إلى بضعة كيلو مترات ، ولكنها مع ذلك تشبهها فى أن لها قمة واضحة ووجه انزلاق Slip Face واضح كذلك . وفيه يكون الانحدار أشد بكثير منه على الجانب الآخر الذى يبدو عادة مقوساً إلى أعلى بحيث تبدو القمة قريبة من الاستدارة ، وكثيرا ما تظهر على امتداد قمة الكثيب سلسلة من القمم التى تفصل بين بعضها وبعض أجزاء أقل منها ارتفاعا من نوع « السروج Saddles » .

وتتكون الكثبان الطولية غالبا فى المناطق التى تتوقف رياحها السائدة من وقت إلى آخر وتهب منها رياح أو دوامات اعتراضية من الجانبين ، ففى هذه المناطق تعمل الرياح السائدة على تكوين صفوف من الكثبان الهلالية ولكن الرياح الجانبية تعمل على دفع رمال الأجنحة نحو الداخل وقد تضيف إليها رمالا أخرى من الجانبين ، ويترتب على ذلك امتلاء المناطق التى تفصل كثبان كل صف من بعضها فتتحول هذه الصفوف إلى كثبان طولية ، إلا أن قمم الكثبان الأصلية تظل بارزة على سطحها . أما الممرات التى تفصل الصفوف بعضها عن بعض فقد تزيل الرياح السائدة والرياح الجانبية ما يتراكم فوقها من رمال مفككة فتبدو صخرية جرداء . ولكن قد يحدث فى بعض المناطق التى تكثر فيها الرمال المفككة أن تتمكن الرياح السائدة من تكوين بعض الكثبان الهلالية الصغيرة على طول الممرات .



شكل (٨١) تكون السيوف نتيجة لوجود رياح جانبية أو دوامات اتجاهاتها متعامدة على اتجاه الرياح السائدة .



شكل (٨٢) كثيب طولى (سيف) تكون بسبب وجود حافة صخرية .

وبالإضافة إلى تكون الكثبان الطولية بهذه الطريقة فإنها يمكن أن تتكون كذلك إذا صادفت الرياح المحملة بالرمال عقبة طبيعيـة أو صناعية تعترض طريقها بشكل حائط ، فى هذه الحالة تلقى الرياح بمعظم حمولتها من الرمال على الجانب المحمى للعقبة ويتكون منها تل يأخذ فى الاستطالة إلى الأمام ،

وتساعد الرياح الجانبية التي تلتف حول طرفي العقبة على زيادة استطالته لأنها تكنس الرمال نحوه من الجانبين وتحول في نفس الوقت دون تشتيت رماله .

وتوجد أمثلة كثيرة للكثبان الطولية في صحراء مصر الغربية إلى الجنوب من منخفض القطارة وفي بحر الرمال العظيم الذي يوجد على طول قسم من الحدود المصرية الليبية .

ظهور الحيتان Whalebacks :

وهي عبارة عن تلال رملية طولية سطحها محدب أو مستو ، وقد سميت بهذا الاسم لأنها تشبه ظهور الحيتان الضخمة ، وهي تشبه الكثبان الطولية في أنها تمتد في نفس اتجاه هبوب الرياح السائدة ، ولكنها تختلف عنها في عدم وجود المظهرين الرئيسيين للكثبان وهما القمة المحددة ووجه الانزلاق ، كما أنها أكبر منها حجما ، فقد يبلغ طول «ظهر الحوت» حوالي ١٥٠ كيلو مترا ، ويبلغ عرضه حوالي ثلاثة كيلو مترات وارتفاعه حوالي خمسين مترا . وهي ثابتة في أماكنها بخلاف الكثبان .

وتوجد أوضح الأمثلة على هذا النوع من التراكمات الرملية في صحراء مصر الغربية ضمن بحر الرمال العظيم الممتد على طول الحدود المصرية الليبية ، وهي ربما تكون متخلفة عن سلسلة ، أو عدة سلاسل ، من الكثبان الهلالية التي هاجرت في اتجاه الرياح .

بحور الرمال Sand Seas :

يطلق هذا التعبير على مناطق صحراوية شاسعة تغطيها تراكمات رملية مختلفة الأشكال ، فقد تتمثل فيها جميع الأشكال التي ذكرناها ، كما توجد فيها مناطق مستوية تكسوها غطاءات رملية سميكة . ومن أشهر بحار الرمال وأعظمها اتساعا في العالم « بحر الرمال العظيم » الذي يمتد على طول الحدود

المصرية الليبية ، وهو يغطي منطقة تزيد مساحتها على سبعة آلاف كيلومتر مربع . ويطلق عليه في كثير من الأحيان اسم « العرق الكبير » ، والواقع أن المناطق الرملية الصحراوية عموماً تشتهر في البلاد العربية بأسماء عامية مختلفة من بينها « العرق » و « الرملة » و « الأرمان » :

الظلال الرملية Sand Shadows :

يطلق هذا التعبير على بعض التراكمات الرملية الصغيرة التي تتكون بنظام معين حول عقبة من العقبات ، ويعتبر وجود هذه العقبة شرطاً مهماً لتكونها ، ولكن لا يشترط أن تكون هذه العقبة كبيرة الحجم بل يكفي أن تكون صخرة صغيرة أو نبات عشبي أو مجرد حيوان ميت . إذ أن وجود مثل هذه العقبة في طريق الرياح يؤدي إلى خلق منطقتين في ظلها هواؤها ساكن Dead Air Space وتكون إحدى المنطقتين في الاتجاه الذي تأتي منه الرياح والثانية في الاتجاه الذي تنصرف إليه . وفي هاتين المنطقتين يبدأ تراكم الرمال ويتكون منها كثيبان أحدهما في مواجهة الريح ويعرف باسم « كثيب الرأس Head dune » والثاني في الاتجاه المقابل ويعرف باسم « كثيب الذنب Tail dune » وكما هي الحال في الكثبان الطولية فإن كثيب الذنب يأخذ في الاستطالة على حسب ما يسمح به حجم العقبة وكمية الرمال المتراكمة ، ولذلك فإن طوله قد يصل أحياناً إلى أكثر من ٧٠٠ متر بينما لا يزيد في أحيان أخرى عن أربعة أمتار .

وفي الجهة المواجهة للرياح يتكون كثيب آخر يعرف باسم الكثيب المتقدم Advanced dune . وهو يتكون في منطقة السكون التي تتكون في النقطة التي تبدأ عندها الرياح رحلة صعودها لاجتياز العقبة . وينفصل هذا الكثيب عن كثيب الرأس منطقة تنشط فيها الدوامات الهوائية ويخلو سطحها لهذا السبب من الرمال . وفي مرحلة تالية تتكون على جانبي العقبة كثبان

أخرى جانبية Lateral dunes . وذلك لأن بعض الرياح تتوزع على جانبي كتلة الرمال التي تجمعت حول العقبة فتحمل معها بعض الرمال التي تتكون منها كثبان جانبية ممتدة في نفس اتجاه الرياح . وأخيرا تظهر على سطح الرمال على مسافة متقدمة في الاتجاه الذي تنصرف إليه الرياح تجاعيد طولية صغيرة Ripples تبدو بشكل التموجات التي تظهر على سطح الماء الساكن عند هبوب رياح خفيفة (راجع شكل ٩٠) .

شكل (٩٠) الظلال الرملية

الشكل العلوي — قطاع جانبي في منطقة الظلال الرملية

الشكل السفلي — مسقط رأسي في نفس المنطقة

الفصل الخامس عشر

المياه الجارية ودورها فى تشكيل سطح الارض

تمهيد :

إن الدور الذي تقوم به المياه الجارية في تشكيل سطح الأرض يفوق الدور الذى يقوم به أى عامل آخر من عوامل التعرية ، بما فى ذلك الرياح ، لأن المياه الجارية يظهر أثرها فى كل الأقاليم تقريبا ، بما فى ذلك الأقاليم الجافة ، ولأنها كذلك ذات قدرة كبيرة على النحت والنقل . ويبدو هذا واضحا من كثرة الوديان التى حفرتها وضخامة أحجام الكثير منها ، ومن اتساع السهول الفيضية التى كونتها وغير ذلك من المظاهر الكثيرة للتعرية المائية ، ونظرا لأن الأمطار هي مصدر كل المياه الجارية فمن الطبيعي أن يكون دور هذه المياه فى تشكيل السطح فى الأقاليم المطيرة أكبر منه فى غيرها . وأكبر مظهر من مظاهر جريان المياه السطحية هو الأنهار ، ولذلك فانها تعتبر من أهم الموضوعات التى يوجه إليها الاهتمام فى دراسة الجغرافيا الطبيعية لسطح الارض .

بعض المصطلحات العامة التى تستخدم فى دراسة الأنهار :

من أهم هذه المصطلحات وأكثرها استخداما ما يأتى : ١) وادى النهر River Valley ، وهو الارض المنخفضة التى تمتد على طول مجراه ، والتى تكونت بمرور الزمن نتيجة لعمليات النحت والإرساب التى قام بها النهر أثناء مراحل تطوره ومن الواضح أن مجري النهر River Course يمثل أعمق أجزاء الوادى ، وأنه هو الطريق الذى تسلكه مياه النهر فى جريانها .

٢) حوض النهر River Basin ، وهو الذى يعرف كذلك بحوض (او منطقة) تصريف النهر Drainage area او Catchment area (or basin) (or basin) ويقصد بها كل الاراضي التى ينحدر سطحها نحو النهر أو نحو أى

رافد من روافده ، حتى ولو لم تتوفر المياه التي تنحدر فوق سطحها بالفعل ، وكل ما هنالك هو أنه لو فرض وسقطت الأمطار فان مياهها تنحدر في اتجاه النهر بطريق مباشر أو عن طريق روافده ٣) النظام النهري River System ويقصد به الشبكة المكونة من النهر وجميع روافده ٤) شكل النظام النهري (أو التصريف النهري) Drainage Pattern ، ويقصد به الشكل الذي يتكون من اتصال روافد النهر بعضها ببعض وبالنهر الرئيسي . ٥) منطقة تقسيم المياه Watershed أو WaterDivide ، وهي المنطقة المرتفعة التي تفصل حوض النهر عن أي حوض آخر مجاور له ، فعندما تسقط الأمطار على هذه المنطقة فانها تتوزع نحو هذين الحوضين على حسب انحدارات سطح الارض ، ومن الممكن أن توضع الحدود الفاصلة بين الأحواض المتجاورة بواسطة خطوط ترسم على الخريطة وتمر بأعلى أجزاء المنطقة بحيث تفصل رؤوس الروافد العليا لكل نهر من الأنهار عن رؤوس الروافد العليا للأنهار الأخرى التي تنبع من نفس المنطقة ٥) أراضي ما بين الانهار Interfluves ، وهي الأراضي التي تفصل وديان الأنهار المتجاورة بعضها عن بعض . ٧) حجم النهر River's Volume ويقصد به كمية المياه التي يحملها النهر في وقت معين . ويستدل عليها بقياس ما يعرف باسم « تصريف النهر River's Discharge » ، وهو كمية المياه التي تمر بأى قطاع من قطاعات مجراه ، وهي تحسب بالأمتار المكعبة أو الاقدام المكعبة في الثانية . ٨) حمولة النهر River's Load ، وهي كمية الرواسب التي يحملها النهر في وقت معين ، وهنالك فرق بينها وبين « قدرة النهر على الحمل River's Load Carrying Ability » ، وهي التي تعرف كذلك باسم « الطاقة الحملية للنهر River's Capacity » . وتتوقف هذه الطاقة على حجم النهر أكثر من توقفها على سرعته ، فالنهر المستكبير البطيء يستطيع أن يحمل الرواسب أكثر مما يستطيع أن يحمله نهر صغير سريع

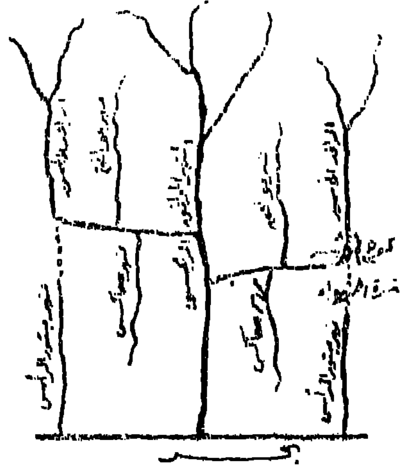
الجريان فى وقت واحد ، إلا أن الحبات التى يستطيع النهر البطىء أن يحملها لابد أن تكون أقل وزنا من الحبات التى يستطيع النهر السريع أن يحملها ، والتعبير الذى يطلق على هذه القدرة هو ، كفاءة النهر River's Compituce ، وهى بعبارة أخرى الحد الاقصى لوزن الحبة الرسوبية التى يستطيع النهر أن يحملها ، وقد قدر الباحث هوبكينز فى سنة ١٨٩٠ أنه إذا زادت سرعة النهر إلى الضعف فإن كفاءته تتضاعف ست مرات ، فإذا اعتبرنا أن سرعة النهر هى ١ ثم زادت إلى ٢ فإن كفاءته تصبح ٢^٦ (أى ٦٤) . ومن الواضح أن كلا من كفاءة النهر وطاقته الحملية ليستا ثابتتين بل إنهما يتغيران من وقت إلى آخر على حسب نظام جريان النهر ، ومن موضع إلى آخر على طول مجراه على حسب درجات الانحدار ، ٨) سرعة النهر River's Velecity ، وهى المسافة التى يقطعها أى مقدار من مائة فى الساعة .

النظم النهرية

RIVER SYSTEMS

نشأتها :

يبدأ تكون أى نظام نهرى عندما تسقط الأمطار على أية منطقة جديدة من الارض ولتكن منطقة ظهرت حديثا من تحت ماء البحر بسبب ارتفاع الارض أو هبوط منسوب سطح البحر ، فبمجرد سقوط الامطار على هذه المنطقة فإن مياهها تجرى على حسب ماتفرضه انحدارات سطح الارض وينتج عن ذلك تكون مسارب وبرك صغيرة . وإذا استمر سقوط الامطار فان المسارب تلتقى ببعضها وبالبرك الصغيرة ، ويتزايد عمق بعض المسارب على حساب بعضها الآخر ، كما تأخذ البرك فى الاستطالة بسبب نحت المياه لأطرافها العليا وأطرافها السفلى ، وبسبب اختراق بعض المسارب الكبيرة لها . وبمرور الزمن تستولى المسارب القوية على مياه المسارب الضيقة فتتزايد أحجامها ، ويتكون منها عدد أقل من الانهار لا تلبث أن تلتقى ببعضها ، ويتكون منها نهر واحد



شكل (٩١) الأسر النهرى

كبير يسير نحو المصب ، ويكون هذا النهر هو النهر الرئيسى بينما تكون الأنهار التي تغذيه روافد له .

الاسر النهرى River Capture :

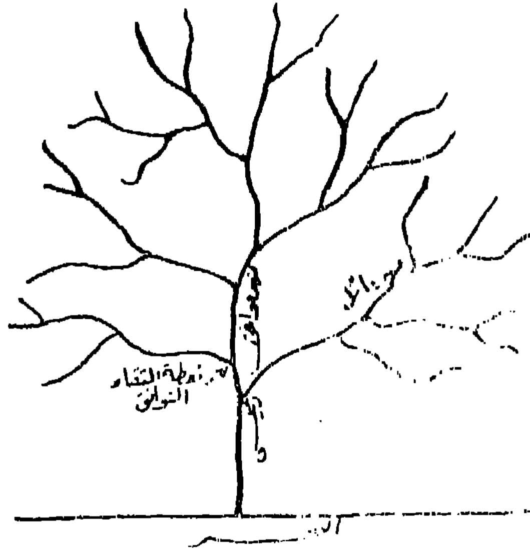
المقصود بالأسر النهرى هو استيلاء أحد الأنهار القوية على رافد أو أكثر من روافد أحد جيرانة الأضعف منـــه ، وهى ظاهرة مهمة فى تطور النظم النهرية ، فاذا كان هنــاك نظامان نهريان متجاوران وكان النهــر الرئيسى لأحدهما أقوى وأنشط فى حفر مجراه وتعميقه من النهر الرئيسى للاخر فان روافد النهر القوى تكون هى الاخرى أنشط فى حفــر مجاريها وتعميقها من روافد النهر الآخر ، ويؤدى نشاط الحفر الصاعد الذى تقوم به هذه الروافد عند رؤوس مجاريها إلى توغل هذه الرؤوس بالتدريج فى المنطقة الفاصلة بين النظامين . فاذا استطاع أحد الروافد النشطة للنهر القوى أن يتوغل برأس

مجراه فى هذه المنطقة حتى يلتقى بمجرى أحد روافد النهر الضعيف فانه يستولى على قسمه الواقع فى أعلى نقطة الالتقاء ، ويؤدى ذلك إلى زيادة طول الرافد النشط وزيادة مياهه على حساب الرافد الضعيف الذى فصل عنه قسمه الأعلى، والذى يطلق عليه تعبير « النهر المبتور الرأس Beheaded River » .

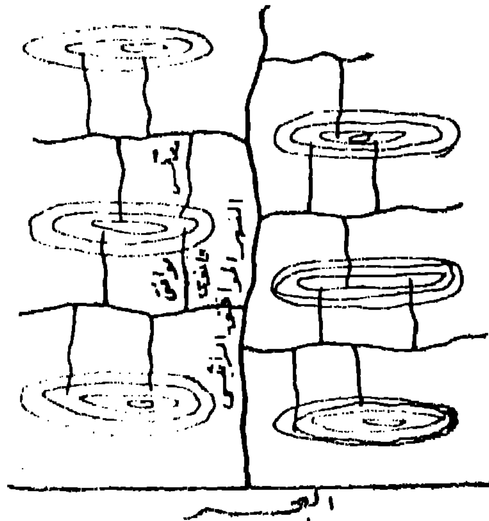
ويمكن الاستدلال على حدوث عملية الأسر النهرى بظاهرات كثيرة من أهمها : ١) صغر حجم النهر المبتور الرأس بالنسبة لاتساع واديه الأصلى بسبب فقدانه لبعض مياهه العليا، ويطلق على هذه الظاهرة تعبير «عدم التلاؤم Misfit » ، ٢) وجود انحناء واضح فى مجرى النهر الآسر فى الموضع الذى حدثت عنده عملية الأسر ، ويطلق على هذا الانحناء تعبير « كوع الاسر Elbow of Capture » ٣) جفاف القسم الأعلى من وادى النهر المبتور الرأس أسفل كوع الاسر مباشرة . ويطلق على هذا القسم تعبير « فجوة الهواء أو ثغرة الهواء Wind Gap » راجع شكل ٩١ .

أهم اشكال النظم النهرية :

يتوقف الشكل العام الذى ينتج عن اتصال روافد النهر الواحد بعضها ببعض وبالنهر الرئيسى على عوامل كثيرة أهمها مظاهر السطح فى المنطقة التى يوجد بها حوضه وتركيبها الجيولوجى وما يوجد بها من انكسارات أو مناطق ضعف مثل وجود طبقات صخرية لينة متتابعة مع طبقات أشد منها صلابة . ومن الواضح أننا لا يمكن أن نجد نظامين نهريين متشابهين تمام التشابه من حيث شكليهما العام ، ومع ذلك فقد قسم الباحثون الاشكال العامة التى يمكن أن تأخذها النظم المختلفة إلى عدة أنواع رئيسية أهمها :



شكل (٩٢) النظام النهرى الشجرى



شكل (٩٣) شكل المستقيمات المتعامدة للنظام النهرى

١ ـ الشكل الشجرى Dendretic Pattern (1) : وهو يتكون على المنحدرات التى تتكون صخورها متجانسة فى درجة صلابتها ، ولذلك فان إنحدار سطح الارض يكون هو العامل الرئيسى الذى يتحكم فى توجيه المجارى الرئيسية التى تأخذ فى جريانها الانحدار العام للسطح ، ولذلك فانها تسمى بالأنهار الموافقة ، (أو التابعة للانحدار) « Consequent Streams » أما روافدها فانها تنحدر نحوها بحيث تلتقى بها بزوايا حادة ، ويطلق على هذه الروافد تعبير الانهار المائلة (أو غير التابعة) Insequent ويطلق على النقطة التى يلتقى عندها الرافد المائل بالمجرى الرئيسى الموافق اسم « نقطة التقاء التوافق Accordant Junction » ، وبنفس الطريقة تنصرف الروافد الصغيرة بالروافد الأكبر منها ، وهكذا يأخذ النظام كله شكل شجرة ضخمة .

ب ـ شكل المستطيلات المتعامدة Trillised Pattern وأهم ما يميز هذا الشكل هو أن الروافد تلتقى بعضها ببعض وبالنهر الرئيسى بزوايا قائمة ويحدث هذا إذا كان مجرى النهر الرئيسى (وهو نهر موافق) يقطع عند انحداره طبقات صخرية متباينة الصلابة ، ففى هذه الحالة يتحكم التركيب الجيولوجى فى اتجاه روافد هذا النهر بحيث تضطر لأن تسير على طول مضارب الطبقات اللينة حتى تلتقى بالنهر الرئيسى بزوايا قائمة تقريبا . ويطلق على هذه الروافد تعبير الانهار (أو المجارى) التالية Subsequent Streams : « وتمتد بمحاذاتها تقريبا الاجزاء المرتفعة من الطبقات الصلبة بشكل حافات طولية . وتقطع هذه الحافات مجارى مائية ينحدر بعضها مع الانحدار العام للأرض ، ويطلق عليها اسم « الانهار الموافقة الثانوية Secondary Consequent Streams » وينحدر بعضها الآخر فى الاتجاه المعاكس ويطلق عليها اسم « الانهار المعاكسة Obsequent Streams » والتعريف الدقيق لها فى الوقت الحاضر هو الأنهار التى تجرى فى اتجاه ميل الطبقات .

---

(١) كلمة Dendretic مأخوذة من كلمة Dendron اليونانية القديمة ومعناها شجرة .

عمليات التعرية التي تقوم بها المياه الجاريه

يتضمن الدور الذي تقوم به المياه الجارية في تشكيل سطح الأرض نفس العمليات التي تقوم بها الرياح وهي النحت والنقل والإرساب ، ولكن نظراً لاختلاف طبيعة المياه المتحركة عن طبيعة الرياح فإن المظاهر التي تنتج منها تكون مختلفة من بعض الوجوه عن المظاهر التي تنتج عن العمليات التي تقوم بها الرياح .

النحت بواسطة المياه الجارية :

من الواضح أن قدرة المياه الجارية على النحت تفوق كثيراً قدرة الرياح، ولذلك فقد استطاعت أن تحفر وديانا لا حصر لها في سطح الارض ، ومن بينها وديان كثيرة عظيمة الضخامة . ولا يقتصر وجود هذه الوديان على الأقاليم الممطرة بل إن سطح المناطق الصحراوية تقطعه كذلك شبكات من الوديان التي حفرتها المياه في عصور قديمة ثم جفت في عصور أحدث نسبيا ، ولكن وديانها ظلت محفورة في السطح ، وكثير منها يبلغ من الضخامة مبلغ وديان الأنهار الكبرى الحالية ، وسنعود للكلام في موضع آخر على دور المياه الجارية في تشكيل سطح الأقاليم الصحراوية .

ويؤدي النهر عند قيامه بعمليات النحت وظيفتين أساسيتين هما :

١) تعميق مجراه بواسطة النحت الرأسي Vertical Erosion ، ٢) توسيع المجرى بواسطة النحت الجانبي Lateral Erosion . ويتوقف نشاط هاتين العمليتين على عوامل متعددة بعضها متعلق بالتركيب الصخري للمنطقة التي يجري فيها وانحدارات سطحها وبعضها الآخر متعلق بطبيعة النهر نفسه من حيث حجم Volume [illegible] حمولته من المواد الرسوبية ، و[illegible] المواد التي تتكون

منها هذه الحمولة ، وسرعة جريانه . والمعتاد هو أن يكون النحت الرأسي قويا في الأجزاء التي يشتد فيها انحدار الارض وتعظم فيها سرعة جريان النهر ، كما هي الحال في أجزائه العليا ، بينما يكون النحت الجانبي قويا في الأجزاء التي يعتدل فيها الانحدار وتعتدل فيها سرعة النهر أو تبطيء ، كما هي الحال في الأجزاء الوسطى والأجزاء الدنيا .

ويحدث النحت النهري بواسطة عدة عمليات معقدة تعمل كلها مجتمعة بحيث يصعب فصل الدور الذي تقوم به أي عملية منها عن الأدوار التي تقوم بها العمليات الاخرى ، وأهم هذه العمليات هي :

١) العمليات التي تنتج عن قوة المياه المتحركة Hydraulic Force وأهمها تحريك المواد المفتتة، وإضعاف الصخور وتفككها نتيجة لتوالي اندفاعها في الشقوق وخروجها منها . والواقع أن المياه المتحركة ، وخصوصا إذا كانت مائجة ، لها قدرة كبيرة على نحت الصخور وتحطيمها ، ولذلك فانها تعتبر العامل الرئيسي في تآكل الأجزاء السفلي من ضفاف الأنهار ، وخصوصا في الجوانب المقعرة للمنحنيات النهرية .

٢) عمليات البرد Corrasion . وهي عمليات تقوم بها المياه المتحركة بمساعدة حمولتها من الرواسب الصلبة ، وهي تؤدي إلى برد وتفتيت صخور قاع المجرى وجوانبه ، ويكون تأثيرها قويا إذا كانت الحمولة مكونة من مواد صخرية خشنة ، وكانت المياه مضطربة وكثيرة الدوامات ، حيث أن الحركة الحلزونية للدوامات تؤدي إلى سحب المواد الصخرية بقوة في حركة دائرية إلى أسفل حتى ترتطم بالقاع فتؤدي إلى حفر فجوات صغيرة يزداد اتساعها بالتدريج . ويطلق على الحفر التي تتكون بهذه الطريقة اسم « الحفر الوعائية Pot - holes » .

٢) « عمليات صقل مواد الحمولة بسبب احتكاك بعضها ببعض Attrition »
ونتيجة لهذه العمليات فان الحبات الصخرية التى تتكون منها الحمولة تصبح ملساء وتتناقص أحجامها ، وكلما نقصت أحجامها نقصت بالتالى أوزانها وأصبحت مهمة نقلها أسهل .

مستوى قاعدة النهر River's Base-level :

وهو أدنى مستوى يستطيع النهر أن يصل إليه عند حفره لمجراه . ويعتبر منسوب سطح البحر المستوى العام لقاعدة كل الأنهار التى تنصرف إلى المحيط أو إلى أى بحر متصل به ، أما الأنهار التى تنصرف صرفا داخليا فان مستوى قاعدة كل منها يتحدد على أساس منسوب سطح المنطقة التى يصب فيها ، سواء أكانت بحيرة أو بحر داخلى أو مجرد منخفض أرضى .

النقل بواسطة المياه الجارية :

إن الطرق التى تنقل بها المياه الجارية حمولتها من الرواسب تشبه من نواح كثيرة الطرق التى تنقل بها الرياح حمولتها ، ولكن المياه الجارية تتميز بأنها أقدر على حمل الفتات الصخرى الكبير نسبيا ، بل وقد تستطيع أن تدفع أمامها كتلا صخرية كبيرة عندما تهبط على جوانب المرتفعات ، كما أن المياه تذيب كثيرا من الاملاح وبعض الصخور ، وتنقلها وهى مذابة فيها ، وهذه ميزة أخرى يتميز بها النقل المائى عن النقل الهوائى .

والطرق التى تنقل بها المياه الجارية حمولتها هى :

١) التعلق Suspension : وهذه هى الطريقة الرئيسية لنقل الرواسب الدقيقة مثل الرواسب الصلصالية والطينية والرمال الناعمة . والمعروف أن الأنهار يمكنها أن تنقل كثيرا من الرواسب الصلصالية والطينية الدقيقة لمسافات طويلة حتى تلقى بها فى البحر الذى تنتهى إليه . فنهر النيل مثلا كان (قبل بناء السد العالى) يلقى فى البحر المتوسط كميات ضخمة من الرواسب

الصلصالية والطينية التي يحملها من هضبة الحبشة أي لمسافة تزيد على ٢٠٠٠ كيلو متر . وقد حسبت كمية الرواسب التي كانت تمر مع مياه النهر عند وادي حلفا قبل إنشاء السد العالي فوجد أنها تبلغ حوالي ١٠٠ مليون طن في السنة . وقد كانت مكونة من ٣٠ مليون طنا من الرمال الدقيقة و ٣٠ مليون طنا من الرواسب الصلصالية و ٤٠ مليون طنا من الرواسب الصلصالية الطينية .

٢) القفز Saltation : وهي الطريقة التي تنقل بها الرواسب الخشنة التي لا تستطيع ، بسبب ثقلها ، أن تبقى معلقة بالماء لمسافات طويلة ، ولذلك فإنها تنتقل في قفزات متتالية ، حيث يؤدي اصطدامها بالقاع إلى ارتفاعها ثم يؤدي ثقلها إلى هبوطها وهكذا بالتوالي .

٣) الجر Traction : وهو الطريقة التي تنقل بها الرواسب التي لا تستطيع المياه أن تحملها ولكنها تستطيع أن تجرها معها فوق القاع، مثل الحصى والرمال الخشنة ، ويطلق على هذا الجزء من حمولة النهر اسم « حمولة القاع Bed-load » .

٤) الذوبان Solution : وهو الطريقة التي تنقل بها المواد القابلة للذوبان وتظهر أهميتها في مناطق الصخور الجيرية والمناطق التي تحتوي صخورها على أملاح قابلة للذوبان .

الارساب بواسطة المياه الجارية :

تشتهر الرواسب التي تلقي بها المياة الجارية فوق سطح الأرض باسم الرواسب الفيضية Alluvial Deposits ، وهي تتباين فيما بينها تباينا كبيرا على حسب حجم حباتها ونوع الصخور التي استمدت منها ، وقد سبق أن ذكرنا أن المياه الجارية تستطيع أن تنقل كميات كبيرة من المواد الرسوبية ، وأن حمولة النهر من هذه المواد Load تتوقف بصفة خاصة على حجم النهر Volume بينما يتوقف حجم الحبات التي تستطيع أن تحملها مياهه على سرعة جريان هذه

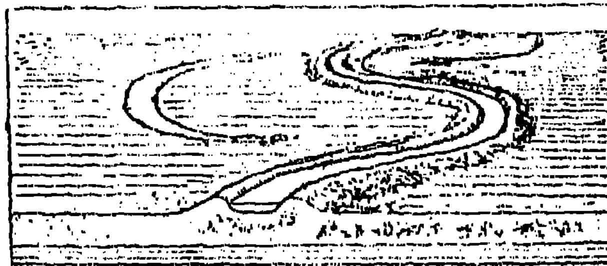
المياه ، ولهذا السبب فان الرواسب الفيضية تتوزع عادة بترتيب خاص يتوقف على سرعة جريان المياه التي أرسبتها ، فعندما تنحدر الأنهار على جوانب الجبال فانها تحمل معها كثيراً من الجلاميد وقطع الصخور المشبعة والحصى ولكنها عندما تصل إلى المناطق السهلية فان سرعتها تتناقص وتضطر إلى إلقاء حمولتها فتلقي أولا بالأجسام الثقيلة بالقرب من قاعدة الجبال ثم تلقي بعد ذلك بالمواد الأخف فالأخف وهكذا ، وقد تبقى الرواسب الصلصالية والطينية الدقيقة عالقة بمياه النهر لعدة مئات أو عدة آلاف من الكيلومترات حتى تصل إلى البحر أو المحيط ، وحتى إذا كان النهر نفسه قصيراً وكان ينتهي في منخفض داخلي فان المواد العالقة بمياهه تترسب فوق قاع المنخفض بالترتيب بحيث ترسب أولا المواد الثقيلة ثم ترسب فوقها المواد الأخف فالأخف وهكذا . وهذا هو ما يحدث في معظم الدلتاوات الصحراوية التي تتكون عند نهايات الأنهار . وفي هذه الدلتاوات ترتكز الطبقات السطحية فوق طبقات من الرواسب الخشنة التي تتجمع فيها المياه وتتكون منها خزانات مائية جوفية .

وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن الإرساب النهري هي :

١) السهول الفيضية Flood Plains : وهي سهول منبسطة تغطيها رواسب طينية ناعمة . وهي تتكون حول مجرى النهر ، وتبلغ أكبر اتساع لها حول مجراه الأدنى حيث يكون النهر متسعا وبطيء الجريان وتكثر به المنحنيات وتفيض مياهه بكثرة على الجانبين فتتكون حوله المستنقعات وبعض البحيرات. وتوجد الرواسب الطينية التي تتكون منها هذه السهول في طبقات رقيقة ولكن مجموع سمكها قد يصل إلى بضع مئات من الأمتار ، كما هي الحال في السهول الفيضي لنهر النيل في مصر السفلي .

وتنشأ حول مجرى النهر نفسه جسور رسوبية Levees أو (Embankments) تفصله من السهل الفيضي . وتتكون هذه الجسور نتيجة لأن إرساب المواد الطينية يكون أوضح على جانبي النهر منه في سطحه بسبب بطء حركة المياه

في الجانبين . وكثيرا ما تقطع مياه الفيضان هذه الجسور وتطغى على السهل الفيضي . وتزداد هذه الخطورة باستمرار لأن الإرساب على قاع النهر نفسه يؤدي باستمرار إلى تزايد ارتفاع منسوبه حتى يصبح أعلى من منسوب سطح السهل الفيضي المحيط به ، فعندما يحدث أي قطع في جسوره فإن المياه تندفع منه بقوة لتغمر مساحات واسعة من السهل الفيضي .



شكل (٩٤) وادي نهري في مرحلة الشيخوخة وسط سهله الفيضي
(لاحظ الجسور الرسوبية التي حوله ، والبحيرة الهلالية التي اقتطعت منه)



شكل (٩٥) السهل الفيضي

٢) الدلتاوات : وهي مناطق فيضية مثلثة تتكون من تراكم الرواسب الطينية عند مصبات الأنهار نتيجة لتصادم مياهها بمياه المنطقة التي تصب فيها . ويساعد على تكون الدلتاوات عدة عوامل أهمها :

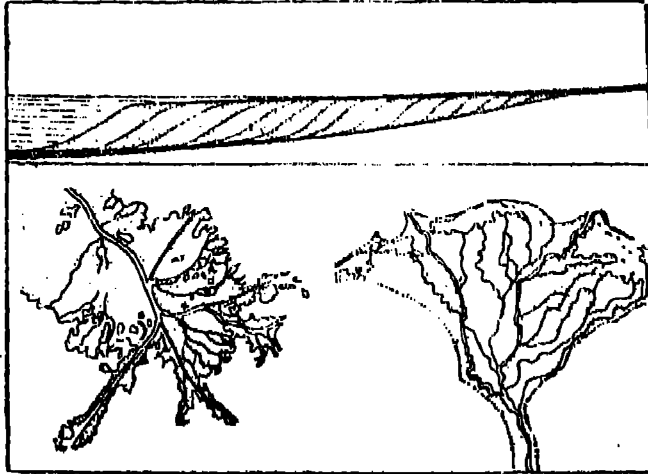
١) حمولة النهر من المواد الرسوبية ، فكلما كانت هذه الحمولة كبيرة ساعد ذلك على تكون الدلتا وعلى سرعة نموها .

٢) قلة عمق المنطقة التي يصب فيها النهر ، فالمياه الضحلة أصلح لتكوين الدلتاوات من المياه العميقة .

٣) عدم اندفاع مياه النهر بقوة مثل اندفاعها فوق منحدر شديد أو شلال ، لأن اندفاعها بهذا الشكل يؤدي إلى ابتعاد الرواسب عن الشاطىء ووصولها إلى المياه العميقة .

٤) هدوء المياه عند المصب وعدم تعرضها لتيارات أو أمواج شديدة أو حركات مد وجزر واضحة، حيث أن هذا الهدوء يساعد على تراكم الرواسب وعلى بناء الدلتاوات ولذلك فإن الخلجان الضحلة المحمية والبحيرات والبحار الداخلية هي أصلح المناطق لتكوينها .

وتتكون الدلتاوات عادة بالتدريج حيث أن الإرساب المستمر عند مصب النهر يؤدي إلى انقسام مجراه إلى عدة فروع كما يؤدي إلى انقسام المنطقة البحرية التي يصب فيها إلى عدة ممرات تقسمها جزر رسوبية فتتوزع مياه النهر على هذه الممرات ، وبهذا الشكل ينقسم النهر عند مصبه إلى فروع عديدة إلا أن عدد هذه الفروع يأخذ في التناقص بسبب انسداد الفروع الصغيرة منها بالرواسب فلا تبقى إلا الفروع الكبيرة التي تأخذ هي الأخرى في التناقص كلما زاد الإرساب ، فنهر النيل مثلا كانت له عدة فروع استمرت موجودة إلى ما بعد الفتح العربي، إلا أنها تلاشت ولم يبق منها إلا فرعي دمياط ورشيد . والواقع أن دلتا نهر النيل هي أول دلتا أطلق عليها اليونانيون القدماء لفظ « دلتا » لأنها تشبه الحرف « دلتا » اليوناني ، وهي تمثل الشكل السائد للدلتاوات وهو الشكل المروحي Arcuate . وقد تأخذ الدلتاوات أشكالا أخرى على حسب ظروف تكوينها ، ومن أمثلتها الدلتاوات المعروفة باسم الدلتاوات الاصبعية Digitate Deltas والتي تسمى كذلك بدلتاوات قدم الطير Bird's Foot Deltas لأنها تشبه قدم الطير ، وأوضح مثال لها هو دلتا نهر المسيسبي (راجع شكل ٩٦) .



شكل (٩٦) الشكل العلوى يوضح التركيب المعتاد للدلتا والشكلان الآخران هما دلتا نهر النيل (مروحية) ودلتا نهر المسيسبي (أصبعية)

وبالإضافة إلى الدلتاوات المائية التى سبق وصفها فان بعض الدلتاوات تتكون على اليابس عند نهايات مجارى الاخوار أو مجارى السيول، ويطلق عليها تعبير « الدلتاوات الجافة أو المراوح الفيضية » . وسنعود إلى الكلام عليها عند كلامنا على دور المياه الجارية فى الاقاليم الجافة .

الجزر النهرية : ويقصد بها الجزر التى تتكون نتيجة لتراكم الرواسب فى مجرى النهر . فقد يحدث فى موسم الفيضان أن تزداد سرعة جريان النهر وتزداد حمولته من المواد الخشنة التى يضطر لالقائها فى بعض المواضع التى تهدأ فيها سرعة جريانه نسبيا فتتكون منها حواجز أو جزر حصوية Shingle Islands ، فاذا ما هبط منسوب ماء النهر بعد موسم الفيضان كان مياهه تتوزع فى المجارى التى تفصل الجزر بعضها عن بعض، ويطلق على الانهار التى تتفرع بهذا الشكل تعبير « الانهار المتفرعة Braided Rivers »

القطاع الطولى للنهر

RIVER'S LONGITUDINAL PROFILE

تعريفه ومراحل تكونه :

المقصود بهذا القطاع هو القطاع الذى يمتد على طول النهر من منبعه إلى مصبه وتتمثل فيه انحدارات المجرى والعقبات التى توجد على امتداده . ومن الممكن توضيحه بالرسم باستخدام مقاييس الرسم المناسبة . وهناك علاقة وثيقة بين هذا القطاع وبين مستوى قاعدة نفس النهر . ولا تقتصر أهميـة القطاع الطولى على توضيح انحدارات النهر والعقبات التى تعترضه ، بل إنه يوضح كذلك مراحل تطوره ، وهى مرحـلة الصبا والشباب ثم مرحلة النضج ومرحلة الشيخوخة . وعلى الرغم من أن النهر بأكمله قد يكون ممثلا لمرحلة من هذه المراحل ، إلا أن الغالب هو أن المراحل الثلاث تكون كلها ممثلة على طول مجراه بحيث تتمثل مرحلة الصبا والشباب فى قسمه الأعلى ومرحلة النضج فى قسمه الأوسط ومرحلة الشيخوخة فى قسمه الأدنى . ولكل مرحلة من هذه المراحل مميزاتها الخاصة .

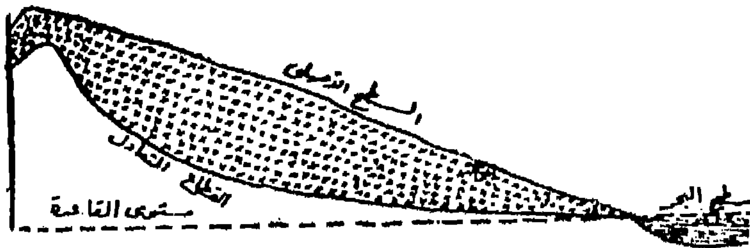
ويمر القطاع الطولى فى عدة مراحل ، فعندما يبدأ النهر فى حفر مجراه فإنه يكون شديد الانحدار وسريع الجريان وتكثر فى مجراه الجنادل ومساقط المياه والبرك والبحيرات والحفر الوعائية والمنحنيات ، وتستمر هذه الظاهرات أثناء مرحلة الصبا والشباب ولكن النهر يعمل على تهذيبها باستمرار أثناء قيامه بتعميق مجراه وتوسيعه ، وهو فى كل مرحلة من مراحل تطوره من الصبا إلى الشيخوخة يسعى أثناء تعميقه لمجراه إلى أن يصل به إلى مستوى قاعدته ، وآخر شكل يمكن أن يأخذه قطاعه الطولى هو شكل قوس شديد الانحدار فى قسمه الأعلى ومعتدل فى قسمه الأوسط وبطيئه جداً فى قسمه الأدنى . ويطلق على هـذا القطاع اسم « القطاع المتعادل Graded Profile أو قطاع التعادل Profile of Equilibrium » وفى هذه الحالة يوصف النهر بأنه نهر متعادل Graded River.

وعندما يصل النهر إلى هذه المرحلة فإن مياهه تستطيع أن تنقل كل حمولته من

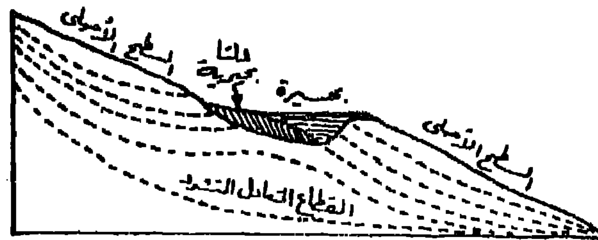
المنبع إلى المصب ولكنها لا تستطيع أن تزيد من عمق مجراه بالحفر أو أن ترفع مستواه بالإرساب . ولئن قامت المياه في هذه المرحلة ببعض الحفر أو الإرساب فإن العمليتين تكونان متعادلتين بحيث لا يطرأ أي تغيير على شكل القطاع ، ولكن بشرط عدم حدوث أي ارتفاع أو هبوط في المنطقة التي يجري فيها النهر ، أو حدوث أي تغيير في منسوب المنطقة التي يصب فيها ، أو بعبارة أخرى بشرط عدم تغير مستوى قاعدته .

أهم العقبات التي تعترض تطور القطاع الطولي للنهر :

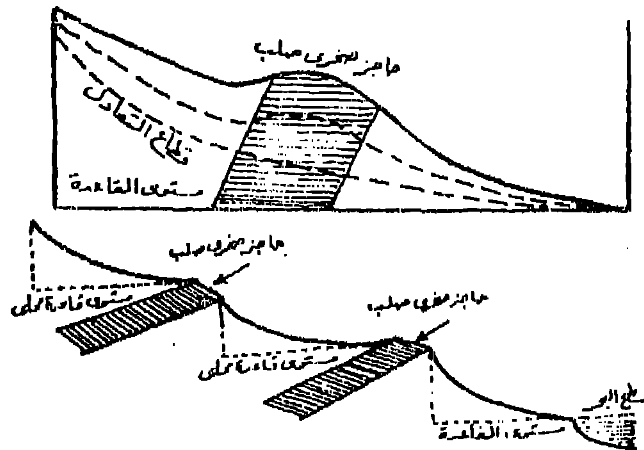
بالاضافة إلى أن حجم النهر وسرعته وحمولته ونظام جريانه كلها تؤثر في سرعة وصوله إلى مرحلة التعادل فإن تضاريس المنطقة التي يجري فيها وتركيبها الصخري لها كذلك دخل كبير في هذه السرعة ، حيث أن النهر قد يتعطل مدة طويلة نسبيا في تذليله للعقبات التي تعترضه ، مثل البحيرات والحواجز الصخرية الصلبة ، فإذا وجدت بحيرة في طريق النهر فإنه يتعطل عندها بعض الوقت لأنها تكون بمثابة مستوى قاعدة محلي ويضطر لأن يبطيء عند اختراقه لها وأن يلقي فيها ببعض رواسبه فتتكون فيها بالتدريج دلتا بحيرية . وبعد أن تمتليء البحيرة تفيض مياهها على حافتها السفلى فتأخذ في نحت هذه الحافة وتخفيضها ويترتب على ذلك انصراف مياه البحيرة بالتدريج حتى تجف ، وبعدئذ يأخذ النهر في حفر مجراه في الدلتا البحيرية وفي الصخور التي يجري فوقها (شكل ٩٨) .



شكل (٩٧) أول وآخر مراحل تطور القطاع الطولي للنهر ومستوي القاعدة



شكل (٩٨) بحيرة تعترض مجرى النهر وتعطل وصوله إلى مرحلة التعادل



شكل (٩٩) عقبات صخرية تعطل وصول النهر إلى مرحلة التعادل

وكذلك إذا وجدت فى المجرى طبقة صخورها أشد صلابة من صخور بقية المجرى فان النهر لن يتمكن من نحتها بنفس السرعة التى ينحت بهـا بقية المجرى، ولذلك فان هذه الطبقة تبقى عالية فى طريقه زمنا طويلا وتتكون منها سلسلة من الجنادل والمندفعات، وينقسم مجرى النهر بسببها إلى قسمين أحدهما فى أعلاها والثانى فى أدناها، وتصبح هى بمثابة مستوى قاعدة محلى للقسم الذى يقع فى أعلاها . وقد يصل كل قسم من القسمين إلى مرحلة التعادل بينما تبقى هى بارزة بينهما ،ومع ذلك فان سطحها ينخفض بالتدريج بسبب النحت المائى فيتناقص منسوب قاعدة القسم الاعلى من النهر وتزداد مقدرته على الحفر تبعا

لذلك ، وهكذا حتى تزول العقبة فيواصل النهر نشاطه للوصول إلى مرحلة التعادل في شكل (٩٩) ، وتعتبر الجنادل والشلالات التي تعترض مجرى نهر النيل بين الخرطوم واسوان مثالا واضحا للعقبات الصخرية التي من هـــذا النوع . وسبب وجودها هو مرور مجرى النهر في هذه المنطقة فوق صخور جرانيتية شديدة الصلابة .

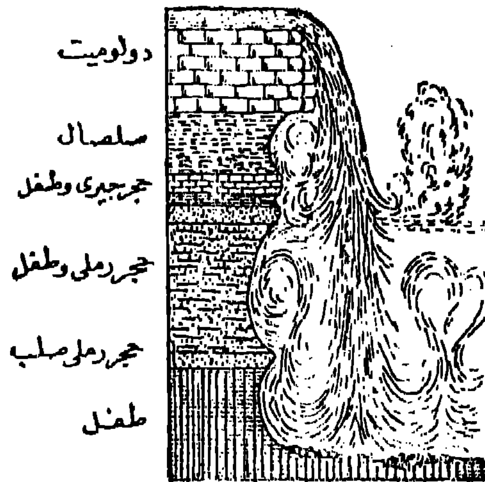
المساقط المائية Waterfalls :

إن كلمة «شلالات» تستخدم في اللغة العربية بمعناها العام للدلالة على أشكال مختلفة من العقبات التي تعترض طريق النهر ، وأهمها المساقط المائية Waterfalls والجنادل Cataracts والمندفعات Rapids ، ومع ذلك فان المقصود بالمساقط المائية بمعناها الدقيق هــو حدوث تغير مفاجيء في انحدار النهر يترتب عليــه سقوط المياه من مستوى مرتفع إلى مستوى أقل منه ، وهناك أسباب مختلفة لظهور هذه المساقط من أهمها :

١) مرور النهر فوق طبقة صخرية شديدة الصلابة ترتكز فوق طبقات لينة ، فان أي كسر في الطبقة الصلبة يؤدي إلى توغل الحفر المائي في الطبقات اللينة وتآكلها بسرعة فتظهر مقدمة الطبقة الصلبة بشكل حافة تسقط فوقها المياه ، ومرور الزمن تأكل المياه الساقطة في الطبقات اللينة فتبقى مقدمة الطبقة الصلبة معلقة ولكنها لا تلبث أن تهوي إلى القاع وبهذا الشكل يتراجع المسقط المائي نحو المنبع تاركا المجرى بشكل خانق عميق ، ويعتبر شلال نياجرا مثالا واضحا لهذا النوع ، ويقدر أنه يتراجع نحو المنبع بمعدل ثلاثين سنتيمترا على الأقل كل سنة ، ويبلغ ارتفاعه في جانبه التابع الولايات المتحدة ٥٧ مترا وطول الخانق الذي تكون بسبب تراجعه حوالي أحد عشر كيلومترا ، وكذلك تعتبر مساقط مياه خايتور على نهر بوتارو Potaro River في جويانا (البريطانية) بأمريكا الجنوبية مثالا آخر لهذا النوع من المساقط ، ويبلغ ارتفاعها حوالي ٢٢٤ مترا.

وإذا كانت التكوينات التي تعترض مجرى النهر شديدة الصلابة ومائلة نحو المصب، ولم تظهر أسفلها أي طبقات لينة فان مجري النهر فوقها يكون كثير المندفعات (وهي الأماكن التي تنحدر فوقها المياه انحدارا شديدا ولكنه غير رأسي) وكثير الجنادل، وهي الصخور الصلبة التي تبرز على القاع .

٢) هبوط النهر فجأة فوق حافة جبلية، ومثال ذلك المساقط الموجودة في بعض الأنهار الإفريقية مثل نهر الكنغو ونهر الأورنج عند سقوطها على حافة الهضبة الإفريقية نحو السهل الساحلي، فعند شلالات لفنجستون مثلا يهبط مجرى نهر الكنغو حوالي ٢٧٣ مترا على حافة الهضبة في سلسلة من المندفعات والمساقط يبلغ عددها ٣٢ مسقطا ومندفعا . وعنـــد شلالات أوجرابيز Aughrabis Falls على نهر أورنج يهبط هذا النهر بمقدار ١٩٤ مترا . وتوجد هذه الشلالات بعد مدينة أبينجتون Upington بنحو ٧٦ كيلو مترا . ويمكننا أن ندخل في هـــذا النوع المساقط التي تنشأ عند نقط تجدد شباب النهر



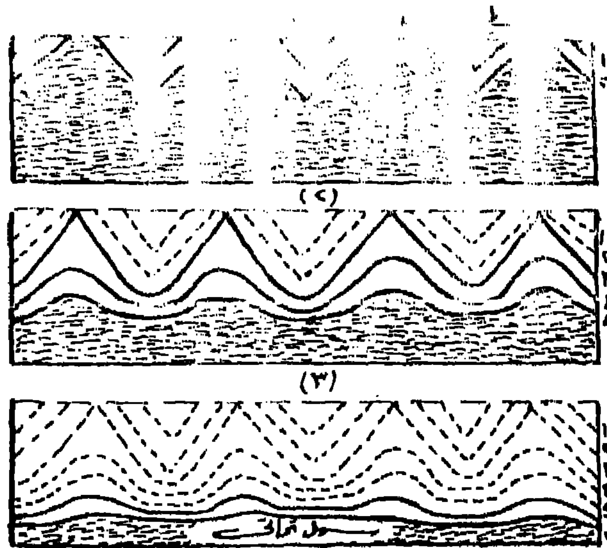
قطاع في شلالات نياجرا يبين أثر فعل التعرية المائية في طبقات الصخور المختلفة

شكل (١٠٠) شلالات نياجرا

Knick Points ، سواء بسبب هبوط سطح المنطقة التي يصب فيها النهر أو بسبب ارتفاع سطح المنطقة التي يجري فيها (كما سنبين فيما بعد) .

٣) حدوث تصدع في قشرة الأرض يترتب عليه زحف الطبقات بحيث تقع إحدى الطبقات اللينة على جانب الكسر من ناحية المصب أمام طبقة شديدة الصلابة على جانبه من ناحية المنبع . وتعتبر شلالات فكتوريا على نهر الزمبيزي في إفريقيا مثالا لهذا النوع من المساقط . ويبلغ ارتفاع هذه المساقط ١١٩ مترا ، وهي توجد في منطقة صخورها بازلتية . وقد ساهم في نشأتها حدوث سلسلة من الصدوع التي ترتب عليها وجود بعض خطوط الضعف التي اندفعت فيها المياه . وقد كانت بعض هذه الصدوع متقاطعة ، ولهذا السبب فان الخانق الذي تكون على الجانب الأدنى من الشلالات يسير في تعاريج متعامدة على بعضها تقريبا ، وقد كانت خطوط مناطق الضعف التي أوجدتها الصدوع عاملا مساعدا على سرعة تراجع المساقط ، ويبلغ طول الخانق الذي نشأ بسبب هذا التراجع ٩٠ كيلو مترا .

٤) زيادة سرعة تعميق أحد الأنهار الرئيسية لمجراه أكثر من سرعة تعميق روافده لمجاريها ، وهي ظاهرة موجودة بكثرة في المناطق التي ساهم الجليد في حفر وديانها ، حيث أن حفر الجليد لبعض الوديان الرئيسية يكون أسرع من حفره لبعض روافدها ، ولذلك فان قاع هذه الروافد يكون أعلى من قاع الأنهار الرئيسية . وتعرف هذه الروافد باسم « الوديان المعلقة Hanging Valleys » . وتتكون المساقط المائية عادة عند مصبات هذه الروافد . وهي ظاهرة موجودة بكثرة في المناطق التي ساد فيها النحت الجليدي في بعض العصور مثل جبال الألب في أوروبا . وسنعود للكلام على هذه الظاهرة عند الكلام على التعرية الجليدية في الفصل السابع عشر (راجع شكل ١١٢) .



شكل (١١٠) الدورة التحاتية المائية فى منطقة جديدة

(١) مرحلة الصبا والشباب ـ تحفر المياه وديانا جديدة فى السطح الأصلى بشكل رقم ٧ ، ويمثلها السطحان ١ و ٢ فى الشكل .

(٢) مرحلة النضج ـ تبدأ باختفاء السطح الأصلى ، ويتكون السهل الفيضى ويتزايد اتساعه ويتزايد هبوط المرتفعات. وتمثلها السطوح ٣و٤و٥ فى الشكل.

(٣) مرحلة الشيخوخة ـ تختفى الجبال تدريجيا وتتحول المنطقة إلى شبه سهل أو سهل تحاتى ، ويمثلها السطحان ٦و٧ .

دور المياه الجارية فى تشكيل سطح الأقاليم الجافة

دورها فى النحت :

على الرغم من قلة مياه هذه الاقاليم ، وخصوصا فى الاقاليم الصحراوية التى قد لا يسقط فيها المطر إلا بمعدل مرة واحدة كل بضع سنين ، فان المياه الجارية تلعب دورا هاما فى تشكيل سطح هذه الأقاليم سواء بطريق النحت

أو بطريق الإرساب . فمن الثابت مثلا أن المياه الجارية هي المسئولة عن حفر جميع الأودية التي تقطع سطح الصحارى في كثير من المناطق ، ولكن كثيرا من هذه الأودية ذات أحجام ضخمة بدرجة لا يمكننا معها أن نتصور أن الأمطار الصحراوية في الوقت الحاضر هي المسئولة عن حفرها ، ولذلك فان هناك إجماعا على أن هذه الأودية الكبيرة ، والتي قد يصل حجم بعضها إلى حجم نهر النيل ، قد حفرت في عصور قديمة كانت أمطار الصحارى أثناءها أكثر من أمطارها الحالية . ومن أهمها عصر البليستوسين الذي يتفق مع ما يعرف « بالعصر المطير » في العروض الوسطى « وعصر الجليد » في العروض العليا .

ومع ذلك فإن الأمطار الحالية للأقاليم الجافة عموما ومن بينها الصحارى هي المسئولة عن حفر كثير من الأخوار التي تجرى فيها المياه في موسم معين فقط بينما تجف في باقي المواسم ، وأغلبها ينتهي على اليابس بسبب قلة مياهه التي لا تكفي لتوصيله إلى البحر أو المحيط . كما أن هذه الأمطار هي المسئولة كذلك عن حفر كثير من أودية السيول التي تقطع جوانب الجبال فتؤدي إلى تآكلها وتراجعها باستمرار ، وكثيرا ما تشاهد جوانب المرتفعات وقد قطعتها عشرات الأودية العميقة إلى كتل صغيرة متجاورة .

دورها في الارساب :

وبالإضافة إلى مظاهر النحت التي تقوم بها المياه الجارية في الاقاليم الجافة فان هذه المياه هي المسئولة كذلك عن تكوين كثير من مظاهر الإرساب المهمة في هذه الأقاليم . وأهم هذه المظاهر هي الدلتاوات الجافة Dry Deltas وهي التي تسمى كذلك « بالمراوح الفيضية Alluvial Fans » ويقصد بها الدلتاوات التي تتكون عند نهايات الأخوار أو عند نهايات مجاري السيول بعد خروجها من مناطق الجبال إلى السهول المجاورة . ونظراً لقوة اندفاع مياه السيول

المياه ، ويطلق على هـذه الحافة اسم الحافة النهرية River Chiff ، ونتيجة لاستمرار نشاط النحت الجانبي يزداد اتساع نطاق المنحنيات التي تتزحزح بالتدريج نحو المصب نتيجة لتآكل أجزائها الواجهة للتيار، كما تتناقص أحجامها لنفس السبب حتى تتلاشى ولا تبقى منها إلا تلالا منعزلة، ويترتب على زحف المنحنيات نحو المصب ، مع تآكل منحدرات الانزلاق وتراجع الحافات النهرية بعيدا عن المجرى أن يتسع السهل الفيضي ويستوى سطحه تقريبا . وتكون حدود هذا السهل هي الحافات النهرية التي تكون قد ابتعدت كثيرا عن النهر .

اما في مرحلة الشيخوخة : التي تتمثل عادة في القسم الأدنى من النهـر ، فيكون السهل الفيضي قد وصل إلى أقصى اتساع له، ويجرى النهر في وسطه دون أن تكون له جوانب مرتفعة ولذلك فانه يكون كثير المنحنيات وكثير الفيضان على الجانبين، وقد يزداد اتساع السهل الفيضي نتيجة للانهيارات التي تحدث في جوانبه أو نتيجة للنحت الأفقي الذي يحدث عندما تصل مياه الفيضان إلى هذه الجوانب أو عندما تصل إليها المنحنيات .

وقد يحدث في هذه المرحلة أن تقتطع إحدى المنحنيات من مجرى النهر نتيجة لاقتراب طرفيه من بعضهما بسبب النحت ثم انسداد هـذين الطرفين بالإرساب ، وعندئذ يتحول المنحنى إلى بحيرة يطلق عليها اسم البحيرة الهلالية Crescentic Lake ، أو بحيرة ظهر الثور القوس Ox - bow - Lake أو البحيرة المقتطعة Cut - off - lake . ويعتبر هذا النوع من البحيرات من الصفات المميزة للسهول الفيضية للأنهار في مرحلة الشيخوخة (شكل ٦-١) .

نكوص النهر ، أو رجوعه الى الصبا والشباب Rejuvenation :

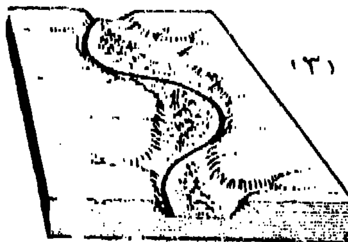
على الرغم من أن وصول الأنهار إلى مرحلة التعادل يمثل آخر مرحلة من مراحل دورتها التحاتية ، كما سبق أن بينـا عند الكلام على القطاع الطولي ، فان النهر قد يعيد دورته مرة أخرى نتيجة لحدوث نكوص في حياته يترتب



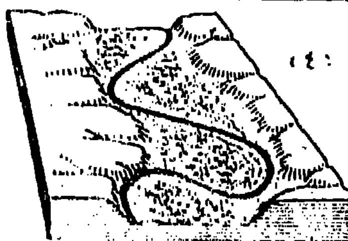
(١) الصبا والشباب – يبدأ حفر الوديان وتعميقها وتأخذ كلها شكل رقم ٧ .



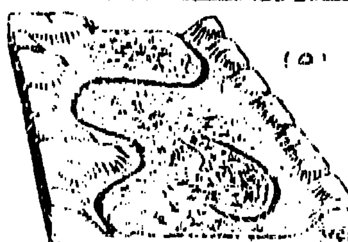
(٢) بداية النضج – يبدأ تكوين السهل الفيضي ، ويبدأ المجري في التعرج .



(٣) النضج – يتسع السهل الفيضي وتبتعد الحافتان عن مجرى النهر ، وتتحول التعاريج تدريجيا إلى منحنيات .



(٤) بداية الشيخوخة – يحتل الوادى كل نطاق المنحنيات بعد تزحزحها نحو المصب .

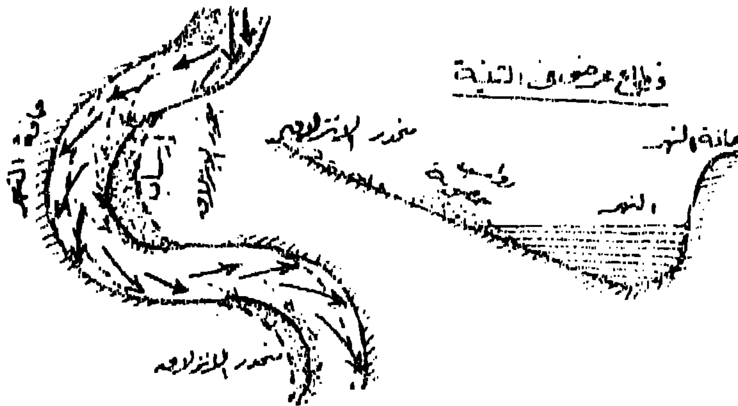


(٥) الشيخوخة – يبلغ السهل الفيضي أقصى اتساعه ، وقد تقتطع من المجرى بحيرات هلالية .

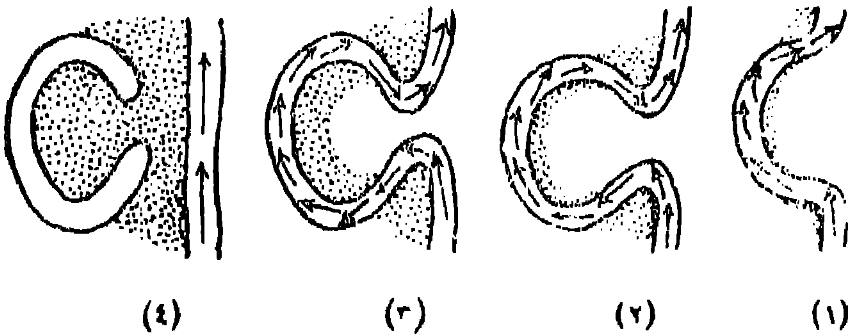
شكل (١٠٣) تطور القطاع العرضي للنهر

عليه رجوعه إلى صباه وشبابه فيتجدد بالتالي نشاطه في تعميق مجراه .
وتحدث حالة النكوص إذا هبط مستوى قاعدة النهر لأى سبب من

الاسباب مثــل حدوث حركة رفع فى المنطقة التى يجرى فيهـا أو حدوث هبوط فى منسوب سطح المنطقة التى يصب فيها إن كانت بحرا أو بحيرة أو غيرها فى هذه الحالة يهبط مجراه هبوطا فجائيا على هذه الحافة التى تكونت بسبب هبوط مستوى القاعدة ويطلق على هذه الحافه اسم «نقطة النكوص Knick Point أو «راس التجديد Rejuvenation Head » وعندها يتكون مسقط مائى . إلا أن هــذا المسقط لا يبقى فى مكانه بل يتراجع تدريجيا نحو المنبع نتيجة لتآكل حافة المسقط بواسطة المياه التى تسقط فوقها ولانهيار أجزائها العليا نتيجة لتآكل الطبقات التى ترتكز عليها إن كانت أقل منها صلابة . ويستمر هذا التراجع ببطء حتى يصل النهر مرة أخرى إلى مستوى التعادل الذى يتلاءم مع مستوى القاعدة الجديد . وقد يحدث أن يجدد النهر



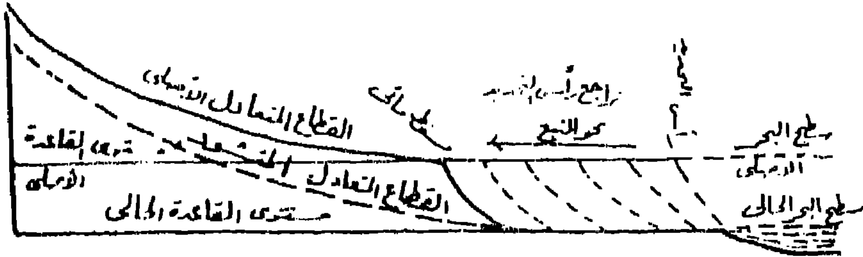
شكل (١٠٤) النحت والإرساب فى ثنية نهرية



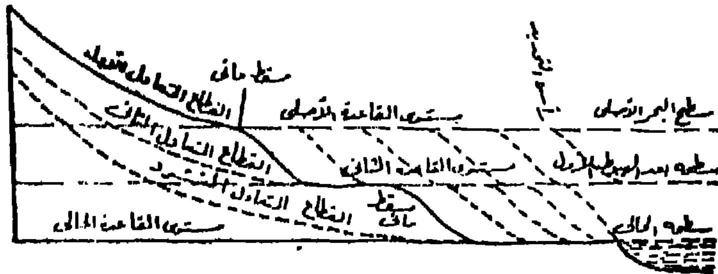
(٤) (٣) (٢) (١)

شكل (١٠٥) مراحل تكوين بحيرة هلالية

الواحد شبابه أكثر من مرة ، وعندئذ تتكون في مجراه عدة مساقط مائية على حسب عدد مرات التجديد (راجع الشكلين ١٠٦ و ١٠٧) .



شكل (١٠٦) تجدد شباب النهر بسبب هبوط مستوى القاعدة وأثره على القطاع الطولي للنهر .



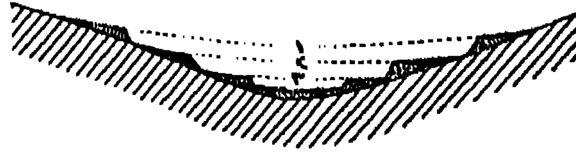
شكل (١٠٧) تجدد شباب النهر مرتين وأثرهما على القطاع الطولي للنهر

وبالإضافة إلى تأثير النكوص على القطاع الطولي للنهر فان له تأثيرا كذلك على قطاعه العرضي ، حيث يؤدي إلى تكون مصاطب أو مدرجات نهرية على جانبيه كما يلي .

المصاطب النهرية River Terraces :

وهي عبارة عن درجات رسوبية تمتد على جانبي مجرى النهر وتتكون من الرواسب التي حملها النهر أثناء تطوره . وتعتبر هذه المصاطب من المظاهر الرئيسية التي يسببها نكوص النهر وعودته إلى مرحلة الصبا والشباب.

Rejuvenation ، ولذلك فان هنـاك علاقة وثيقة بينها و بين نقط التجديد Knick Points . فعندما يتجدد نشاط النهر لأى سبب من الأسباب التى تؤدى إلى تغيير مستوى قاعدته (كما سبق أن ذكرنا عند الكلام على هـذه الظاهرة) فانه يعود إلى شق مجرى جديد له وسط مجراه الأصلى ، فتتخلف نتيجة لذلك مصطبتان متقابلتان على جانبيه وتكون هاتان المصطبتان متسعتين فى أول الأمر ، ولكنهما يضيقان بالتدريج بسبب النحت الجانبى الذى يعاود نشاطه بعد أن يكون النهر قد انتهى أو كاد ينتهى من تعميق مجراه الجديد . فاذا ما حدث وتكرر نكوص هذا النهر وعاد إلى صباه وشبابه مرة ثانية فإن مصطبتين أخريين تتكونان بنفس الطريقة ولكن على مستوى أدنى من مستوى المصطبتين الأوليين، ومن الممكن أن تتكرر نفس العمليات مرة ثالثة ورابعة أو أكثر فتتكون فى كل مرة مصطبتان جديدتان وهكذا . ونظرا لأن المصاطب تتعرض منذ ظهورها لعوامل التعرية ولغير ذلك من عوامل الهدم



شكل (١٠٨) ثلاثة أزواج من المصاطب النهرية المتقابلة



شكل (١٠٩) منظر مجسم لمصاطب نهرية عند مصب النهر

التي تنتج عن النشاط الحيواني أو البشري ، فانه كلما زاد قدم هذه المصاطب اختفت معالمها ، ومع ذلك فمن الممكن الاستدلال عليها وإعادة تصورها بعد دراسة ما يمكن أن يوجد منها من بقايا متناثرة على طول النهر، حيث أن كل زوج من المصاطب المتقابلة تكون له صفاته الخاصة من حيث نوع الرواسب وعمرها ونوع الحفريات والآثار الحضارية التي تختلط بها .

الدورة التحاتية المائية

Cycle of Water Erosion

في أوائل القرن الحالي نشر العالم الأمريكي ديفز W. M. Davis نظريته التي أطلق عليها تعبير « الدورة الجغرافية » والتي اشتهرت بعد باسم « الدورة التحاتية Cycle of Erosion » أو الدورة الجيومورفولوجية . وقد كانت هذه النظرية بداية لنهضة قوية في دراسة الجيومورفولوجيا[1] الحديثة ، وعلى الرغم من أن بعض الباحثين قد وجهوا إليها كثيرا من النقد فإنها ما زالت تعتبر حتى الآن من أهم الموضوعات التي تتضمنها دراسة أشكال سطح الأرض، وخصوصا بالنسبة لدراسة الأنهار .

وتتلخص هذه النظرية في أن مظاهر سطح الأرض في أي منطقة إنما هي نتيجة لثلاثة عوامل مجتمعة وهي التركيب الجيولوجي لهذه المنطقة ، ثم العوامل التي تؤثر على سطحها ثم المرحلة التي وصلت إليها في تطورها . وقد لخص ديفز نظريته هذه في عبارته المشهورة ، وهي : « Landscape is a Function of Structure, Process and Stage. » وجوهر هذه النظرية هو أن سطح الأرض يتغير باستمرار، وأنه في تغيره هذا يمر بمراحل معروفة . وقد شبه ديفز هذه المراحل بالمراحل التي يمر بها حياة الانسان

(١) أن ديفز نفسه لم يستخدم تعبير « جيومورفولوجية » عند اقتراحه لنظرية الدورة التحاتية وكان يستخدم تعبير « الدورة الجغرافية » ، أما تعبير جيومورفولوجية فقد اقترحه باحثون آخرون من بعده .

أو الحيوان وأهمهـــا مرحلة الصبا والشباب Old Stage ومرحلة النضج Maturity Stage ، ومرحلة الشيخوخة Old Age Stage . وقد أدخل بعض الباحثين المعاصرين تعبيرات أخرى لزيادة تفصيل هذه المراحل مثـل مرحلة المراهقة Adolescence Stage ويقصد بهـا المرحلة المبكرة من الشباب ، ومرحلة الكهولة Senility Stage ويقصد بها المرحلة المتأخرة من الشيخوخة ولكل مرحلة من هذه المراحل مظاهرها الخاصة التي يمكن ملاحظتها بسهولة في الأشكال المختلفة لسطح الأرض ، وخصوصا أشكال المجاري المائية .

وتبدأ الدورة الجيومورفولوجية لأي منطقة بمجرد ظهورها لأول مرة على السطح ، ولكن من تحت سطح ماء البحر ، فعندئذ تبدأ عوامل التجوية وعوامل التعرية المختلفة في تشكيل سطحها ، وتبدأ معها مرحلة الصبا والشباب في تطور هذا السطح ، وفي هذه المرحلة تحفر المياه الجارية وديانا ضيقة شديدة الانحدار وتكثر بمجاريها العقبات الصخرية والحفر الوعائية والبرك ومساقط المياه ، وتكون القطاعات العرضية لوديانها بشكل رقم ٧ ، وقد يتجمع بعضها في بحيرات تخرج منها المياه في مجار أخرى . وبمرور الزمن يأخذ السطح الأصلي المنطقة في التآكل حتى يختفي تماما وباختفائه تنتهي مرحلة الصبا والشباب ، وفي نفس الوقت تبدأ الأنهار الرئيسية في تكوين سهولهـا الفيضية . ويعتبر بدء تكون هذه السهول علامة رئيسية من علامات انتهاء مرحلة الشباب وبدء مرحلة النضج وعندئذ تكون معظم الانهار الرئيسية قد وصلت إلى مرحلة التعادل .

وعند بدء مرحلة النضج يكون كل السطح الأصلي قد زال تقريبا ، وتكون قمم الأراضي المرتفعة التي تفصل بين الأنهار والأحواض المتجاورة مائلة للاستدارة ، ويؤدي تآكلها المستمر إلى انخفاض سطحها بالتدريج . وفي هذه المرحلة والمرحلة السابقة تلائم الانهار نفسها مع التركيب الجيولوجي للمنطقة بحيث أن مجاريها تكون محفورة في طبقات هذا التركيب ، وفي هـذه المرحلة تصل كل المجاري النهرية حتى الصغيرة منها إلى مرحلة التعادل .

وعندما تصل المنطقة إلى مرحلة الشيخوخة تكون قـد تحولت إلى « شبه سهل » (pene = تقريبا) ، لأن سطحها لا يكون سهليا

تماما بل يكون كثير التموجات وتبرز فوقه بعض التلال المكونة من صخور صلبة أمكنها أن تقاوم التعرية ويشتهر هذا النوع من التلال باسم« موناد نوكس Monadnocks » نسبة إلى الجبل المسمى بنفس الاسم فى ولاية نيوهامبشاير فى مرتفعات الأبلاش ، وتوجد من نوعها تلال كثيرة منتشرة فى صحارى البلاد العربية حيث تشتهر باسم « القور » ومفرده قارة . وفى هذه المرحلة تفقد الانهار صلتها بالقاعدة الصخرية التي كانت تجرى فوقها لأن مجاريها تكون مرتكزة فوق الرواسب السميكة التي يتكون منها السهل الفيضى . ومعنى ذلك أن التركيب الجيولوجى لا تكون له صلة مباشرة بها . وتكون هذه الانهار بطيئة الجريان وكثيرة المنحنيات (راجع شكل ١٠٩) .

وعلى الرغم من أن مرحلة الشيخوخة تمثل آخر مرحلة من مراحل الدورة التحاتية المائية فإن الدورة كلها قد تتكرر فى نفس المنطقة أكثر من مرة . ويحدث هذا إذا حدث ارتفاع فى سطحها أو حدث هبوط فى سطح البحر الذى تصب فيه أنهارها وهو السطح الذي يمثل أدنى مستوى يمكن أن تصل إليه الأنهار عند تعميق مجاريها، ويطلق عليه تعبير مستوى القاعدة Base-Level (وقد سبق أن تكلمنا عليه عند شرح القطاع الطولى للنهر) فاذا حدثت أى حركة من هاتين الحركتين فإن المنطقة ترجع مرة أخرى إلى مرحلة الصبا والشباب وتنشط الأنهار من جديد فى حفر مجاريها ، وتبدو مظاهر الدورة الجديدة مطبوعة Superimposed على سطح السهل التحاتى (شبه السهل) الذى تكون فى الدورة الأولى فتبدو الوديان النهرية الجديدة مطبوعة فى وديان الأنهار القديمة . ويطلق على ظاهرة تجدد الدورة التحاتية بالصورة السابقة تعبير « النكوص أو الرجوع الى الصبا والشباب Rejuvenation » وقد سبق أن عالجناها عند الكلام على القطاع الطولى والقطاع العرضى للنهر .

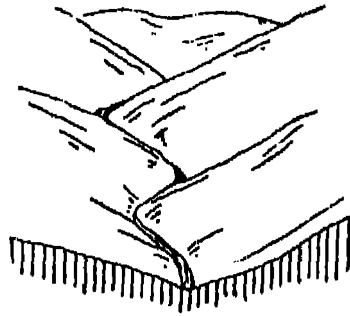
القطاع العرضى للنهر
RIVER'S CROSS SECTION

تعريفه ومراحل تطوره :

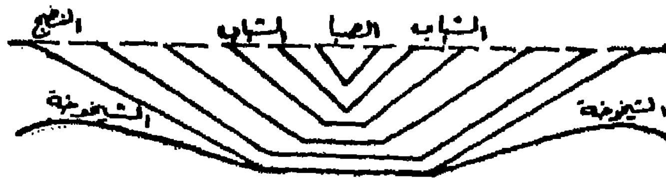
المقصود بهذا القطاع هو القطاع الذى يمتد بين جانبي النهر فى أى جزء من أجزائه . و كما أن القطاع الطولى له علاقة وثيقة بمراحل تطور النهر فأن قطاعاته العرضية لها كذلك علاقة بمراحل تطوره، وهى مرحلة الصبا والشباب التى تتمثل فى قسمه الأعلى ومرحلة النضج التى تتمثل فى قسمه الأوسط ومرحلة الشيخوخة التى تتمثل فى قسمه الأدنى ، أى بنفس الترتيب الذى رأيناه عند دراسة القطاع الطولى . ولكل مرحلة من هذه المراحل مظاهرها الجيومورفولوجية الخاصة التى يمكن ملاحظتها بسهولة فى قطاعاته العرضية .

ففى مرحلة الصبا والشباب : يكون النهر شديد الانحدار ويكون معظم مجهوده موجها إلى تعميق مجراه بواسطة عمليات النحت الرأسي وخصوصا عمليات تكوين الحفر الوعائية Pot-holes وأهمها اندفاع المواد الصخرية بحركة حلزونية نحو القاع. ويأخذ مجرى النهر فى هذه المرحلة شكل رقم ٧، ولا يكون له أى سهل فيضى لأن عمليات توسيع مجراه تكون محددة جداً، سواء بواسطة النحت الجانبي أو بواسطة العمليات الأخرى المساعدة وهى التجوية وانهيار الجوانب وجرف الرواسب بواسطة الأمطار Rainwash . وفى حالات قليلة جدا تكون عمليات التوسيع معدومة تقريبا ، وفى مثل هذه الحالات يأخذ الوادى شكل خانق عميق جوانبه رأسيه تقريبا. وفى كثير من الأحيان يكون مجرى النهر فى هذه المرحلة كثير التعاريج لأنه يضطر للدوران حول أى عقبة من العقبات الصخرية التى تقف فى طريقه وأهمها الألسنة الجبلية Spurs التى تتداخل فى بعضها على امتداد المجرى Interlocks . ويتزايد وضوح هذه التعاريج تدريجيا نتيجة للنحت المستمر فى جوانبها المحدبة

والإرساب في جوانبها المقعرة (شكل ١٠١) . وفي هذه المرحلة يكون قاع النهر غير منتظم وتكثر به الحفر الوعائية والجنادل والمندفعات ومساقط المياه وتستمر هذه المرحلة حتى يصل النهر إلى مرحلة التعادل Graded . وعندئذ يبدأ في تكوين سهل فيضي حوله ، ويعتبر البدء في تكوين السهول الفيضية أحد العلامات الرئيسية لانتهاء مرحلة الصبا والشباب وبدء المرحلة التالية وهي مرحلة النضج .

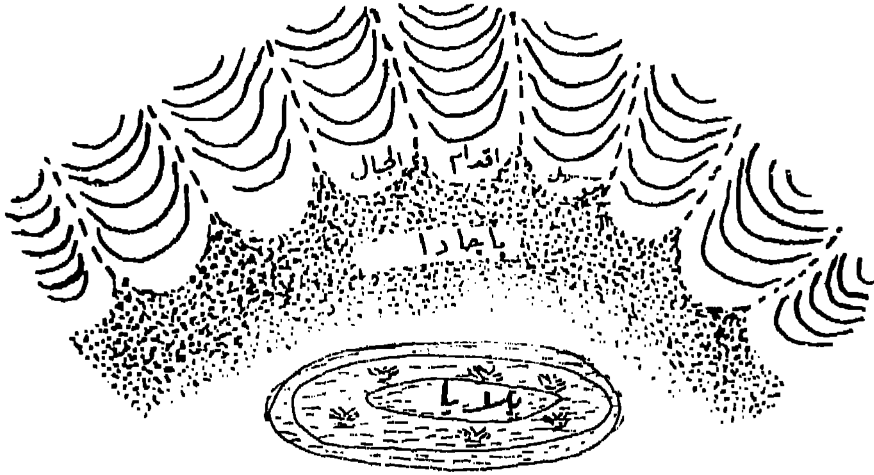


شكل (١٠١) تعاريج الوادي في مرحلة صباه

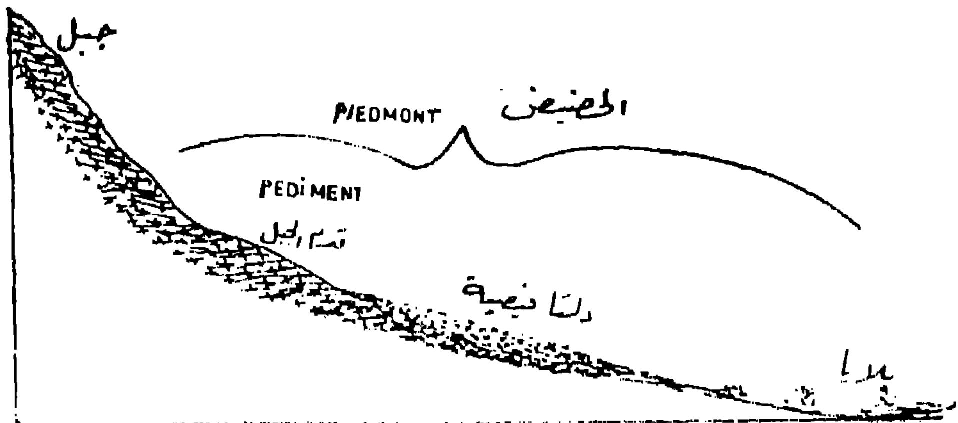


شكل (١٠٢) رسم تخطيطي يبين مراحل تطور القطاع العرضي للنهر

وفي مرحلة النضج ينشط النهر في توسيع مجراه بينما تتناقص قدرته على تعميقه ، ويزداد وضوح تعرجاته بسبب تزايد نشاط النحت في جوانبها المقعرة وتزايد الإرساب على جوانبها المحدبة التي يبدأ أمامها التيار وتتحول هذه التعرجات بالتدريج إلى منحنيات Meanders تفصل بينها ألسنة رسوبية منحدرة يطلق عليها تعبير منحدرات الانزلاق Slip-off-Slopes ، وفي مقابل كل لسان منها تتكون حافة قائمة نتيجة للنحت المستمر في أجزائها السفلى بواسطة



شكل (١١١) مظاهر النحت والارساب المائى فى الأقاليم الجافة



شكل (١١٢) قطاع فى حضيض منطقة جبلية صحراوية

فإن دلتاواتها تكون عادة مكونة من الجلاميد وقطع الصخور والحصى والرمال الخشنة ، أما الرواسب الناعمة فتحملها المياه إلى مسافات بعيدة عن الجبال .

ولا تتكون دلتاوات السيول ملاصقة لقاعدة الجبال مباشرة ولكنها تتكون على بعد قليل منها لأن قوة اندفاع المياه لا تسمح بترسيب حمولتها بمجرد وصولها إلى قاعدة الجبل ، ولذلك فإن الدلتا تكون مفصولة عن هذه القاعدة بواسطة منطقة سطحها صخرى خالى من الرواسب ومقوس إلى أعلى ، ويطلق عليها تعبير « قدم الجبل Pediment » . وتظهر الدلتا أمامها بشكل تل قليل الارتفاع . وتتكون حول المرتفعات عادة سلسلة من هذه الدلتاوات ، وهى تكون مفصولة عن قاعدة الجبال بواسطة سلسلة من الأقدام الجبلية . وبمرور الزمن يزداد حجم الدلتاوات حتى تلتقى ببعضها ويتكون منها نطاق متصل يعرف باسم . الباجادا أو الباهادا Bajada or Bahada » ، كما يزداد اتساع الأقدام الجبلية وتتصل ببعضها ويتكون منها سهل سطحه صخرى مقوس يعرف باسم « سهل اقدام الجبال Pediplain » . ومن الواضح أن هذا السهل ينشأ بسبب النحت وليس بسبب الإرساب .

ولا تتوقف المياه المنحدرة من المرتفعات عند نطاق الباجاد بل إنها تواصل سيرها فى السهول المجاورة حتى تصل إلى أقرب منطقة منخفضة فيتكون بها مستنقع أو بحيرة ضحلة تتوقف مدة بقائها على كمية المياه وطول موسم سقوطها ، ويطلق على هذه البحيرة بعد جفافها اسم « بلايا Playa » . وتتراكم فوق قاعها الرواسب الناعمة التى تبقى عالقة بالمياه التى تصل إليها ، كما يحيط بها سهل فيضى مكون من نفس الرواسب تقريبا (أنظر شكل ١١٠ و ١١١) .

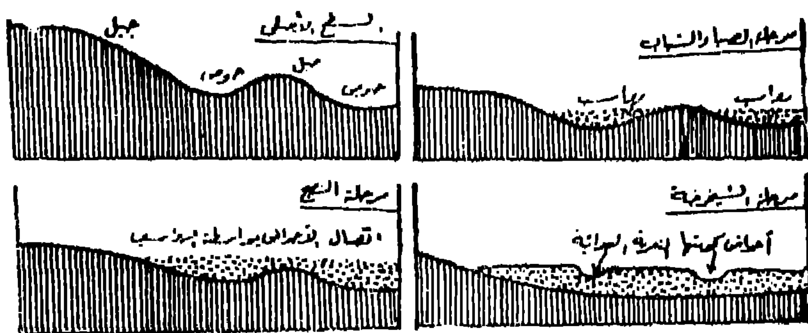
وتختلف دلتاوات الأخوار عن دلتاوات السيول من عدة نواح مثل حجم المواد الرسوبية واتساع المنطقة التي تغطيها ، فدلتاوات الأخوار تكون غالبا مكونة من رواسب أنعم من رواسب دلتاوات السيول بسبب جريان المياه التي حملتها لمسافة كبيرة نسبيا في المناطق الجبلية . ومع ذلك فان كميات كبيرة من الرواسب الخشنة تتراكم عند رأس الدلتا ، كما تتكون منها طبقة سميكة ترتكز فوقها الرواسب الناعمة في بقية أجزاء الدلتا ، ويساعد وجود هذه الطبقة على تكوين خزانات مياه جوفية مهمة . وتغطي دلتا الخور عادة منطقة مساحة أوسع من المنطقة التي تغطيها دلتا السيول ، لأن رواسبها تنتشر غالبا في مساحة واسعة وخصوصا إذا كان الخور متفرعا عند نهايته . وتعتبر دلتاوات بعض الأخوار مراكز مهمة للتجمع البشري والانتاج الزراعي في الأقاليم الجافة ، ومن أشهر الدلتاوات التي من هذا النوع دلتا خور القاش (الجاش) في شمال شرق السودان ، فقد نشأت عليها مدينة كبيرة هي مدينة كسلا التي تعتبر منطقتها من أهم مناطق الانتاج الزراعي والحيواني في البلاد .

علاقة النحت والارساب المائي بالدورة التحاتية الصحراوية :

منذ أن اقترح الباحث الأمريكي ديفيز Davis فكرة الدورة التحاتية في أوائل هذا القرن أخذ كثير من الباحثين يحاولون استخدامها لتفسير مظاهر السطح الحالية للأقاليم المختلفة ومن بينها الصحاري ، ويرى ديفيز وغيره من الباحثين مثل كينج L. C. King (في جنوب إفريقيا) أن سطح الصحاري كان في بداية الأمر جبليا ، وأن المياه الجارية لعبت دورا رئيسيا في تطوره .

وفيما يلي تلخيص لرأي ديفيز ورأي كينج في هذا الموضوع .

رأى ديفيز : يفترض هذا الباحث أن المناطق الصحراوية كانت في بداية أمرها مكونة من سلاسل جبلية تفصلها أحواض منعزلة . وكانت أمطارها أكثر منها في الوقت الحاضر ، وأثناء مرورها في مرحلة الشباب نشطت المياه الجارية في نحت الجبال وفي نقل المواد الرسوبية نحو الأحواض المنعزلة فامتلأت بها هذه الأحواض ، وبامتلائها دخلت هذه المناطق في مرحلة النضج وأخذت الرواسب تفيض من الأحواض العليا إلى الأحواض المنخفضة حتى اتصلت جميع الأحواض ببعضها وبدأت عمليات النحت الصاعد من الأحواض المنخفضة تعمل على تخفيض سطح هذه المناطق ، وكان ذلك هو بداية مرحلة الشيخوخة ، وفيها نقص ارتفاع الجبال بدرجة أدت إلى نقص الأمطار فلم يعد للمياه الجارية دور مهم في تشكيل السطح بينما أصبحت الرياح هي العامل الرئيسي في تشكيله حيث قامت بحفر كثير من الأحواض وبتخفيض سطح هذه المناطق حتى تحولت إلى سهول تحاتية .



شكل (٦ – ١) الدورة التحاتية الصحراوية في رأي ديفيز

رأى كينج : يشترك هـذا الباحث مـع ديفيز في الافتراض بأن سطح المناطق الصحراوية كان جبليا وأن أمطارها كانت أكثر منها في الوقت الحاضر. إلا أنه يختلف معه في شرح طريقة تحولها إلى سهول تحاتية حيث أنه يربطها بعمليات تكون سهول أقدام الجبال « Pediplains » ، فهو يرى أن النحت المائي في جوانب الجبال قد أدى إلى تكوين مناطق جرداء سطحها صخرى محدب عند قواعدها ، وهذه المناطق هي التي تعرف باسم « أقـــدام الجبال Pediments » كما سبق أن أوضحنا ، وبتكوينها تكون المنطقة قـد دخلت في مرحلة الصبا والشباب وبمرور الزمن أخذت هـذه المناطق تتسع عـلى حساب الجبال حتى تحولت إلى سهول سطحها صخرى هى « سهول أقدام الجبال Pediplains » وبهذا التطور دخلت هـذه المناطق في مرحلة النضج ، وخلالها تزايد اتساع هذه السهول حتى أصبحت هى المظهر السائد في المنطقة بينما لم تبق من الجبال إلا أجزاء محدودة . وبعدئذ دخلت المنطقة في مرحلة الشيخوخة وأصبحت السهول تشغـل كل أجزائها وتحولت الجبال إلى تلال صخرية متناثرة من نوع القـور ، وبهذا الشكل تحولت المنطقة إلى « شبه سهل Poneplain » (أو سهـل تحاتى) [1] ، وقـد يستمر تآكل التلال الصخرية بعد ذلك حتى تتفكك صخورها بفعل التجوية وتتحول إلى أكوام من الصخور المفككة . وتعرف هـــذه الأكوام باسم « قصور الشياطين Castle Copjes » .

وقـد لاقى رأى كينج قبـولا بين الباحثين أكثر مما لاقاه رأى ديفيز الذى ظهر قبله بحوالى نصف قرن ، لأن كينج اعتمد في شرح رأيه على

---

(١) راجع ما سبق أن ذكرناه من دور المياه الجارية في تشكيل سطح الأقاليم الجافة.

بعض الآراء الحديثة فى تكوين السهول التحاتية . وهنــاك فرقان مهمان بين هذين الرأيين هما : ١) أن ديفيز يعتبر أن عمليات الارساب تلعب الدور الرئيسى فى الدورة التحاتية الصحراوية بينما تلعب عمليات النحت دوراً ثانويا، أما فى رأى كينج فيحدث العكس . ٢) أنه بينما يرى ديفيز أن الهبوط العام فى سطح المنطقة يبدأ فى مرحلة النضج فان كينج يرى أنه لا يبدأ بصورة فعالة إلا فى المراحل الأخيرة لتكوين السهل التحاتى .

الفصل السادس عشر

التعرية البحرية

العوامل التي تتدخل في تشكيل السواحل :

تتدخل في تشكيل سواحل البحار عوامل كثيرة أهمها .

١ ـ التصدع الذي قد يؤدي إلى توغل البحر في بعض المناطق وتكوين بحار وواجهات ساحلية جديدة تتفق اتجاهاتها وتعاريجها مع امتداد الصدوع ، والمعروف أن نطاقات واسعة من سواحل المحيطات قد نشأت نتيجة للتصدع الذي حدث في كتلتي اوراسيا وجندوانا وترتب عليه انفصال الكتل التي كونت القارات الحالية .

٢ ـ حركات الرفع أو الخفض التي تنتج من الحركات الأرضية المختلفة سواء في ذلك الحركات الأفقية أو الرأسية ، ومن أهمها حركات الالتواء التي قد تؤدي إلى طغيان البحر على بعض مناطق اليابس أو إلى ارتفاع قاع البحر أو مناطق اليابس المجاورة له .

٣ ـ عوامل التجوية التي تؤدي إلى اضعاف صخور السواحل وتفكيكها وتفتيتها فتساعد بذلك على انهيارها أو تآكلها بفعل عوامل التعرية المختلفة .

٤ ـ عوامل التعرية ، فسواحل البحار بالذات يمكن أن تتأثر بكل عوامل التعرية ولكن بدرجات متباينة ، فالرياح تقوم بنحت الصخور وبريها ، ونقل الرمال وتوزيعها على الشواطىء بأشكال مختلفة من أهمها الكثبان الشاطئية ، كما أنها هي العامل الرئيسي الذي يتحكم في حركات الأمواج والتيارات البحرية التي تعتبر بدورها من العوامل الرئيسية في تشكيل السواحل (كما سنبين بعد قليل) ، كما أن المياه الجارية تتدخل هي الاخرى في تشكيل

السواحل بما تجلبه إليها من رواسب قد تؤدى إلى تقدم الساحل على حساب البحر ، أو بما تحفره فيها من وديان تغمر مياه البحر أجزاءها الدنيا فتظهر بشكل خلجان يطلق عليها اسم المصبات الخليجية Estuaries ، كما أن الأمطار نفسها قد تجرى كثيرا من تكوينات السواحل وتلقى بها فى المياه الشاطئية . كما أن الجليد يعتبر كذلك من العوامل الرئيسية فى تشكيل سواحل الأقاليم الباردة لأنه يقوم عند انحداره على جوانب الجبال المشرفة على السواحل بحفر وديان عميقة تقطع الساحل فاذا ما غمرتها المياه فانها تظهر بشكل خلجان عميقة جوانبها قائمة أو شديدة الانحدار تعرف باسم الفيوردات Fyords .

٥ – نوع صخور الساحل والتراكيب التى توجد فيها ، فمن الواضح أن تفكك الصخور وتفتتها بواسطة عوامل التجوية أو تآكلها بواسطة عوامل التعرية تتوقف إلى حد كبير على درجة تأثر هذه الصخور بكل عامل من هذه العوامل . كما أن التراكيب الجيولوجية التى توجد فيها هذه الصخور لها هى الاخرى دخل فى تحديد درجة مقاومتها للعوامل المختلفة . فاذا كان الشاطىء مكونا من طبقات رسوبية متجانسة وكانت هذه الطبقات أفقية أو مائلة نحو اليابس كانت مقاومتها للأمواج أشد مما لو كانت غير متجانسة ومائلة نحو البحر لأنها فى الحالة الاخيرة تكون معرضة لكثرة الانهيار Landsliding . وإذا كانت الصخور كثيرة الشقوق والفواصل فان تأثرها بعوامل التجوية والتعرية يكون أكبر .

دور الامواج فى تشكيل السواحل

قوة الامواج وحركاتها :

الامواج هى أقوى الحركات المائية تأثيرا على السواحل ، فعلى الرغم من أن حركات المد والجزر وحركات التيارات البحرية لها أدوار جيومورفولوجية

معروفة ، فان هذه الأدوار لا يمكن أن تقارن بالدور الذى تقوم به الامواج . وأهم أنواع الامواج تأثيرا على السواحل هى أمواج الارتطام (راجع الفصل الثامن) وتقدر القوة التى تنتج من ارتطام هذه الامواج بالشواطىء بما يتراوح بين ٣٠٠٠ و ٣٠٠٠٠ كيلو جرام على المتر المربع الواحد . وترتبط بتقدم هذه الامواج وتقهقرها حركات معينة فى المياه الشاطئية ، فعند تقدمها وتكسرها على الشاطىء يرتفع سطح الماء ويتقدم نحو البر فى حركة يطلق عليها تعبير « تقدم البحر Swash » وعند تراجعها ينخفض السطح بحركة يطلق عليها تعبير « تراجع البحر Backwash » . وفى أثناء حركة تقدم البحر يتكون تيار مائى سفلى يتحرك على القاع فى اتجاه مضاد أى نحو البحر ويطلق عليه اسم « تيار السحب Underlow Current » وهو يقوم بجرف بعض رواسب الشاطىء نحو البحر .

وتتوقف قدرة الأمواج على النحت على عدة عوامل أهمها :

(١) قوة الامواج نفسها . (٢) طبيعة صخور الشاطىء من حيث درجة صلابتها وتناسق طبقاتها واتجاه ميلها وما يوجد بها من مناطق ضعف مثل الشقوق والفواصل . (٣) طبيعة الساحل من حيث كونه مكونا من جروف قائمة أو مسطحات رملية منخفضة أو بطيئة الانحدار ، ومن حيث كونه محميا فى خلجان هادئة المياه أو مكشوفا للتصادم المباشر بالامواج . (٤) كمية ما تنقله الامواج عند تحركها من مواد صخرية مثل قطع الصخور والحصى والرمال ، فكلما زادت كمية هذه المواد وزادت أحجامها زادت قدرة الامواج على تحطيم صخور الشاطىء ونحتها .

وأعلى منسوب لعمليات النحت الناشئة من الامواج هو منسوب المد الأعلى ، أما أدنى منسوب لتأثيرها فليس هناك اتفاق على تحديده ولكنه قد

لا ينخفض في الغالب عن منسوب أدنى مستوى للجزر بأكثر من ١٤ مترا ، على حسب رأي بعض الجيومورفولوجيين مثل شيبرد [١] .

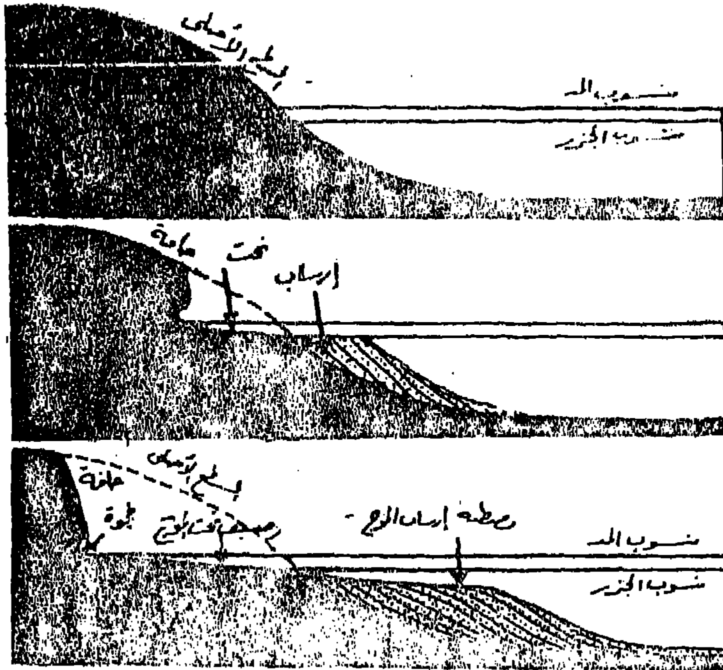
الدورة الحاتية الساحلية (شكل ١٠٧) :

يبدأ تطور السواحل بمجرد ظهورها وتلاطم الامواج بها ، واذا فرضنا أن الساحل كان صخريا ومائلا نحو البحر فان أول عملية تقوم بها الأمواج نتيجة لتلاطمها به هي تكوين فجوة Notch على امتداد قاعدة الحافة الساحلية على المستوى الذي يشتد فيه نحت الموج وهو المستوى الذي يتفق مع منسوب المد ويساعد تكوين هذه الفجوة على ظهور الساحل بشكل حافة Cliff قائمة تقريبا، ويؤدي استمرار نحت الامواج في قاعدة هذه الحافة إلى تراجعها وتكوين رصيف صخري مكان الجزء الذي تراجع، ويطلق على هذا الرصيف اسم « رصيف نحت الموج Wave-cut Platform » ويجواره من ناحية البحر تتراكم المواد الصخرية التي تحملها الامواج من الشاطىء فتتكون منها مصطبة رسوبية يطلق عليها اسم « مصطبة ارساب الموج Wave-built Terrace » وفي نهايتها من ناحية اليابس تكون الرواسب خشنة ومكونة من قطع الصخور والحصى ثم تتضاءل أحجامها وتتحول إلى رمال خشنة أو ناعمة كلما تقدمنا في البحر ، وكلما اتسعت هذه المصطبة قل عمق المياه وقلت بالتالي قوة الامواج وقدرتها على النحت . وفي نفس الوقت يتزايد ابتعاد الحافة الصخرية عن المياه حتى تصل إلى وضع لا تدركه الامواج فينتهي بذلك تأثيرها عليها .

ويطلق تعبير « الشاطىء Beach » بصفة عامة على المنطقة المكونة من رصيف النحت ومصطبة الإرساب معا . وهو يبلغ أقصى اتساعه عندما تكون الحافة قد ابتعدت تماما عن تأثير نحت الموج . ولكنه لا يستمر ثابتا على

(1) F. P. Shepard, "Submarine Geology", New York 1948.

حاله ، لأن المياه تحاول دائما أن تجرف الرواسب نحو البحر ، وخصوصا عند اشتداد الموج ، فيتناقص بذلك اتساع مصطبة الإرساب ويتناقص اتساع الشاطىء تبعا لذلك .



شكل (١٠٧) الدورة التحاتية الساحلية

وهكذا فان السواحل تمر عند تطورها بمراحل تشبه مراحل تطور الأنهار وهي مراحل الصبا والشباب ثم النضج ثم الشيخوخة ، وتبدأ مرحلة الصبا والشباب عندما تبدأ الامواج في حفر الفجوة الطولية في الساحل الصخري وتنتهي بتكوين رصيف نحت الموج ومصطبة إرسابه ، وفي مرحلة النضج يزداد اتساع الرصيف والمصطبة وتتناقص مقدرة الموج على النحت والارساب ويأخذ قطاع الشاطىء من الحافة إلى نهاية المياه الضحلة شكلا مقوسا ، وهذه هي المرحلة التي تقابل مرحلة التعادل في تطور القطاع الطولي للنهر ، وفي

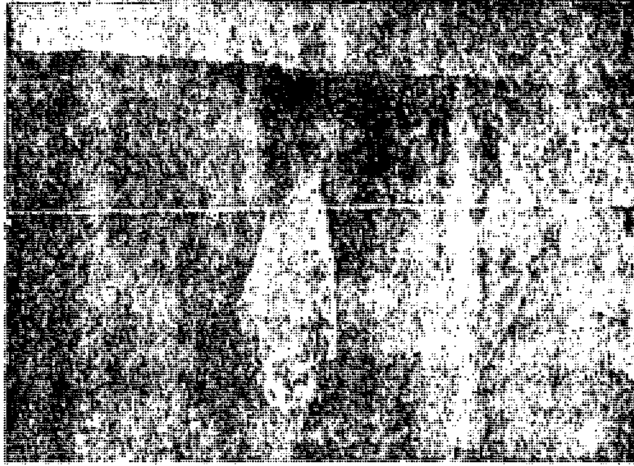
مرحلة الشيخوخة يزداد تدرج القطاع نتيجة لاستمرار تآكل الحافة بواسطة عوامل التعرية ، وتراكم المواد الرسوبية أمامها ، وقد يتكون على امتداد الشاطىء الضحل من ناحية البحر شريط رسوبي مرتفع نوعا ما نتيجة لبدء تكسر الأمواج عند تقدمها نحو الشاطىء ، ويطلق على هذا الشريط تعبير « خط الارتطام Breaker's Line » وقد يكون هذا الشريط مغمورا ولكنه قد يبرز كذلك على السطح، ويطلق عليه في هذه الحالة اسم « الشاطىء الحاجز » وتنحصر بينه وبين الشاطىء الأصلي منطقة ضحلة مياهها هادئة ، وقد تشغل هذه المنطقة مسطحات مائية مقفلة أو شبه مقفلة يتكون منها نطاق من البحيرات الضحلة المعروفة باسم « البحيرات الشاطئية Lagoons » .

وكما هي الحال في تطور الأنهار فان الدورة التحاتية الساحلية قد تتكرر أكثر من مرة إما نتيجة لحدوث ارتفاع في سطح الارض أو في منسوب سطح البحر أو هبوط في أي منها أو حدوث أكثر من حركة من هذه الحركات في وقت واحد . والمهم هو أن تؤدي الحركة التي تحدث إلى ظهور خط ساحلي جديد تبدأ الأمواج في التلاطم معه وتشكيله .

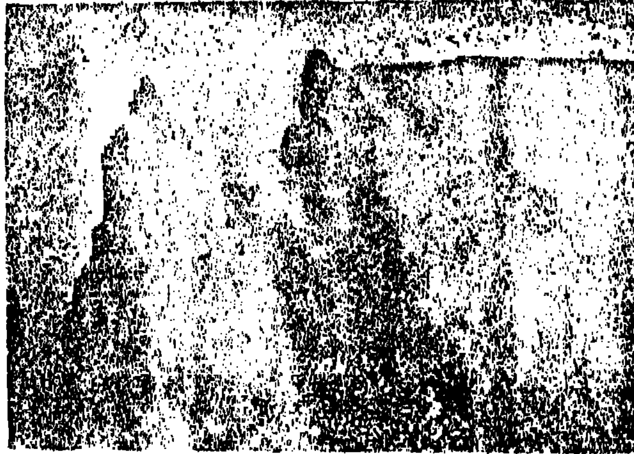
بعض الاشكال الجيومورفولوجية الساحلية :

١- الاشكال الناتجة عن النحت :

الكهوف Caves : وهي عبارة عن فجوات متعمقة حفرتها الأمواج في السواحل الصخرية ، ويساعد على تكوينها وجود مناطق ضعف في الصخور مثل الشقوق والمفاصل والأسطح الطبقية أو وجود طبقات لينة وسط طبقات صلبة في المستوى الذي يتأثر بحركة الأمواج ، حيث أن اندفاع المياه وانضغاط الهواء في داخل الشقوق والمفاصل ثم خروجها منها في حركات متوالية يؤدي إلى إضعاف جوانب الصخور وتآكلها ثم انهيارها . وقد تشترك عمليات التجوية في توسيع الكهوف ، وخصوصا في المناطق



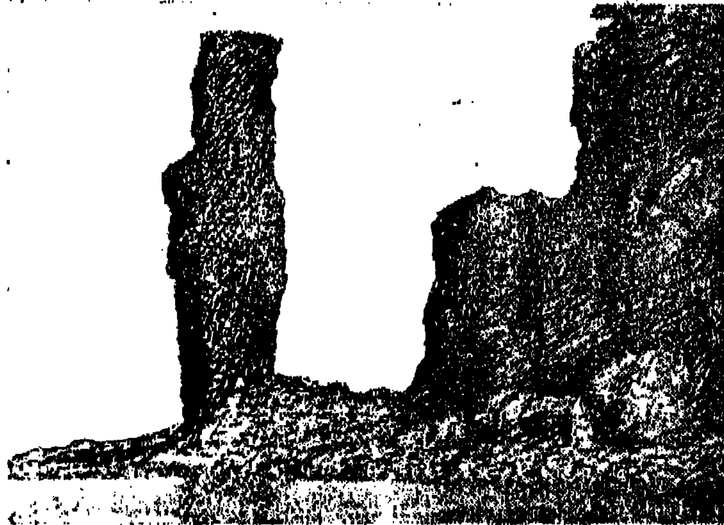
شكل (١٠٨) قوس بحرى



شكل (١٠٩) صخور بارزة أمام الساحل ومتخلفة
من الحافة الساحلية المتراجعة

الصخور الجيرية، حيث أن تسرب مياه الأمطار المحملة بثاني أوكسيد الكربون في هذه الصخور يساعد على ذوبانها وعلى توسيع الكهوف .

الأقواس والمسلات البحرية : وهي كذلك من المظاهر الناتجة عن نحت الموج في السواحل الصخرية . وتنشأ الأقواس البحرية Sea Arches نتيجة لنحت الأمواج في جانبي أحد الألسنة الصخرية الممتدة في البحر ، بحيث يؤدي هذا النحت إلى تكوين كهف في كل جانب منها ، ويزداد عمق الكهفين تدريجيا حتى يتقابلان وتتكون منهما فتحة في اللسان الذي يبدو في هذه الحالة بشكل قوس أو بوابة (شكل ١٠٨) وكلما زاد اتساع القوس ضعف الجزء العلوي منه حتى يسقط إلى القاع وعندئذ تظهر مقدمة القوس بارزة بشكل عامود صخري يطلق عليه اسم « المسلة البحرية Sea Stack » (شكل ١١٠) ولا يشترط أن تتكون كل المسلات من أقواس بحرية ، لأنها يمكن أن تنشأ كذلك من تآكل المواضع اللينة من اللسان البحري بينما تبقى الأجزاء الصلبة منه بارزة أمام الساحل .



شكل (١١٠) مسلة بحرية

الحافات البحرية Sea Cliffs : ويقصد بها الجروف الصخرية التى تنشأ نتيجة لنحت الموج ، كما سبق أن بينا ، وهى تتباين فيما بينها تباينا كبيرا على حسب نوع صخور الشاطىء ودرجة مقاومتها للنحت وترتيب طبقاتها ومدى تجانسها واتجاه ميلها، ووجود مناطق ضعف بها مثل الشقوق والفواصل والأسطح الطبقية .

وفى بداية الدورة التحاتية الساحلية تكون الحافة مشرفة على مياه البحر مباشرة ، وفى مرحلة الصبا والشباب يتكون بينها شاطىء منخفض، ويزداد اتساع هذا الشاطىء فى مرحلة النضج حتى تبتعد الحافة تماما عن تأثير موج البحر ، وفى مرحلة الشيخوخة تتآكل هذه الحافة وتتدرج نحو الشاطىء وتتراكم عند قاعدتها المواد الصخرية التى تنتج من تآكلها .

رصيف نحت الموج Wave-cut Platform : ويقصد به المصطبة الصخرية التى توجد فى حضن الحافة ، وهى تتكون نتيجة لنحت الموج . ويزداد اتساع الرصيف بالتدريج ما دامت الأمواج تستطيع أن تصل الى قاعدة جروف الحافة .

ب — الاشكال الناتجة عن الإرساب :

الشواطىء الرملية والشواطىء الحصوية : وهى الشواطىء التى تتكون منها مصطبة إرساب الموج Wave built Terrace ، وهى تتكون من المواد التى تنحتها الأمواج من جروف الشاطىء وتلقى بها فى المياه الشاطئية . وبتزايد تراكم الرواسب يزداد ارتفاعها حتى تظهر فوق سطح الماء ، وتصبح جزءاً رئيسيا من الشاطىء ، وتتكون رواسب هذه الشواطىء من مواد صخرية مختلفة الأحجام أهمها الحصى والرمال ، وهى تزداد خشونة كلما اتجهنا نحو جروف الحافة حتى أنها قد تكون عند قاعدة هذه الجروف مكونة من الأحجار والحصى الكبير ، وتكون كلها فى الغالب ملساء ومائلة للاستدارة

بسبب عمليات الصقل التي تحدث فيها عندما تحتك ببعضها وبالرمال أثناء تقدم الموج وتقهقره ، ويطلق على الشواطيء التي تسود بها هذه المواد اسم الشواطيء الحصوية Shingle Beaches ، وهي من المظاهر التي تشتهر بها السواحل الصخرية التي تشتد أمامها حركة الأمواج . أما الشواطيء التي تسود فيها الرمال فتعرف بالشواطيء الرملية Sand Beaches ، وتتكون الأخيرة عادة في الأماكن التي تهدأ فيها قوة الموج مثل السواحل المقعرة والخلجان وعلى جوانب الجزر التي تقع في اتجاه انصراف الرياح (أي التي لا تواجه الرياح مباشرة) Leeward Side .

الحواجز الرملية Sand-Bars : وهي عبارة عن أشرطة من الرواسب الرملية التي تتكون في المياه الشاطئية الضحلة ، وتكون غالبا موازية للساحل وكثيرا ما تكون مغمورة تحت الماء ، ولكنها قد تظهر كذلك على السطح ، خصوصا أثناء حدوث الجزر . والسبب في تكوينها هو بدء تكسر الأمواج عند وصولها إلى المياه الضحلة ، مما يضطرها لإلقاء بعض حمولتها من الرمال . وقد تتصل هذه الحواجز بالشاطيء فتحصر بينها وبينه مناطق بحرية مقفلة تتكون منها بحيرات شاطئية Lagoons .

الألسنة الرملية Sand-Spits : وهي تشبه الحواجز الرملية في كونها عبارة عن أشرطة من الرواسب الرملية الممتدة في البحر ، ولكنها تختلف عنها في طريقة تكوينها ، فهي تتكون غالبا أمام فتحات الخلجان والمصبات الخليجية ، وتكون منذ بداية تكوينها متصلة من أحد أطرافها بالساحل ، وتلعب التيارات البحرية الدور الرئيسي في تكوينها ، فعندما يمر التيار البحري أمام فتحة أحد الخلجان أو المصبات الخليجية فإنه يلقي ببعض حمولته أمامها بسبب مروره في منطقة ضحلة مياهها هادئة . فينتج عن ذلك تكون لسان رملي أمام فتحة الخليج أو المصب .

الفصل السابع عشر

التعرية الجليدية

GLACIAL EROSION

تمهيد :

يعتبر الجليد من أهم العوامل التي لعبت في الماضي ، ولا تزال تلعب في الحاضر ، دورا أساسيا في تشكيل سطح الارض ، ولا تزال آثار التعرية الجليدية القديمة ظاهرة حتى الآن في كثير من المناطق التي تدخل في الوقت الحاضر ضمن الأقاليم المعتدلة أو الحارة مثل جنوب إفريقيا وإستراليا والهند والبرازيل ، وهي المناطق التي كانت أجزاء من قارة جندوانا القديمة . ومن الثابت أن كثيرا من المظاهر الجيومورفولوجية في وسط أوروبا وشمالها ، وفي وسط أمريكا الشمالية وشمالها قد تكونت بسبب التعرية الجليدية التي قام بها الجليد أثناء زحفه على هذه المناطق خلال العصور الجليدية في البليستوسين .

وأصل الجليد Ice هو الثلج Snow الذي يتساقط بكثرة في الاقاليم الباردة، ويشترط لتكونه أن يكون الجو رطبا ، وكلما زاد بخار الماء في الجو زادت كمية الثلج المتساقطة ، كما يشترط أن تظل درجة الحرارة في منطقة سقوطه دون درجة التجمد لمدة طويلة حتى لا تنصهر الثلوج الساقطة، فاذا ما توفرت هذه الشروط واستمر تساقط الثلج فإنه يتراكم ويزداد تكدسه ويزداد الثقل الواقع فوق طبقاته السفلى ، ويؤدي ذلك إلى تماسك بلوراته وتحوله إلى الجسم البلوري الصلب المعروف « بالجليد » .

الاشكال التي يتوزع بها الجليد على الارض :

تأخذ تكوينات الجليد أثناء تكونها أو تحركها على سطح الارض أشكالا خاصة تتوقف على كمية الثلوج المتساقطة وأشكال التضاريس ونظام درجة الحرارة في الاقاليم التي تتساقط عليها . وأهم الاشكال التي تنتج عن ذلك هي :

١) الغطاءات الجليدية Ice Sheets ، ٢) العمائم الجليدية Ice Caps ،
٣) الحقول الجليدية Ice Fields ، ٤) الأنهار الجليدية Glaciers .

الغطاءات الجليدية :

وهى عبارة عن مناطق شاسعة تكسوها طبقات جليدية سميكة تختفى تحتها كل المظاهر التضاريسية لسطح الارض ويكون سطحها مستويا تقريبا بحيث يبدو وكأنه بحر جليدى متسع . وقد كانت الغطاءات الجليدية فى نصف الكرة الشمالى عظيمة الاتساع جداً خلال العصور الجليدية . فقد كانت تغطى فى تلك العصور كل شمال أوربا ومعظم وسطها وغربها كما كانت تغطى معظم المناطق الشمالية والوسطى فى أمريكا الشمالية ، وذلك بالإضافة إلى كل المناطق القطبية الأخرى . أما الآن فلا يوجد فى العالم إلا غطاءين كبيرين هما الغطاء الذى يكسو معظم جزيرة جرينلاند والغطاء الذى يكسو القارة القطبية الجنوبية كلها تقريبا . وهناك غير ذلك غطاءات أخرى صغيرة يتكون منها الشكل الذى سنطلق عليه تعبير « العمائم الجليدية » .

ويشغل الغطاء الجليدى فى جرينلاند أكثر من ثلاثة أرباع الجزيرة ، ويبلغ اتساعه حوالى ١ ١/٢ مليون كيلو متر مربع ، ويزيد سمكه فى الوسط عن ٢٠٠٠ متر ولكنه يتناقص كلما اتجهنا نحو المحيط . فعلى السواحل الشرقية تبرز بين الجليد كثير من التلال الصخرية التى يتكون منها السطح الأصلى للجزيرة ، وعندما يصل الجليد إلى مياه المحيط نفسها فانه يتقدم على سطحها حيث يتكسر بشكل كتل ضخمة تتكون منها « جبال جليدية Icebergs » كثيرة . وتنتقل هذه الجبال بواسطة التيارات البحرية إلى مسافات بعيدة عن الساحل . ويختلف الحال عن ذلك بعض الشيء على السواحل الغربية للجزيرة ، فعلى طول أجزاء كبيرة من هذه السواحل تمتد سواحل جبلية مرتفعة تكاد تحدد

الغطاء الجليدى تحديدا واضحا من هذه الناحية، إلا أن الجليد قد استطاع أن يحفر فى جوانب هذه السلاسل كثيرا من الوديان العميقة التى تكونت منها الفيوردات العديدة التى يتميز بها الساحل .

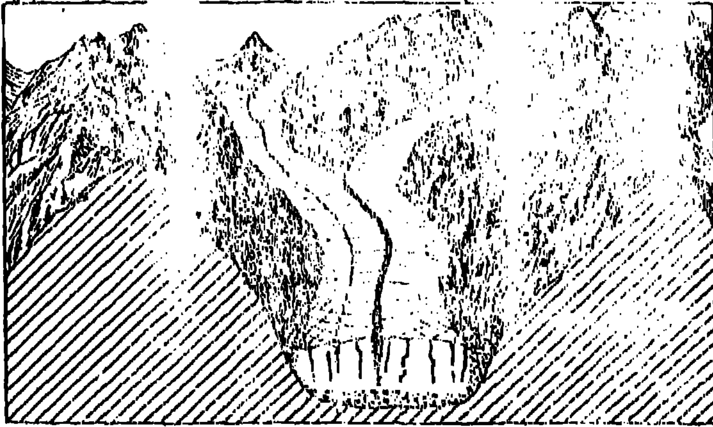
وفى القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) يكسو الغطاء الجليدى كل القارة تقريبا . وتبلغ مساحته حوالى تسعة ملايين كيلو متر مربع ، ويزيد سمكه فى الوسط عن ٢٠٠٠ متر ، ولكنه يتناقص كلما اقتربنا من الساحل حيث تبرز من تحته كثير من التلال الصخرية والصخور الناتئة . وكما هى الحال فى جرينلاند فإن الغطاء الجليدى فى القارة القطبية الجنوبية يزحف ببطء نحو البحر حيث يتكسر وتتكون منه جبال جليدية مختلفة الأحجام ، وتمتد هذه الجبال بالقرب من الساحل فى نطاق كبير يطلق عليه اسم حاجز روس Ross Barrier » .

٢ — العمائم الجليدية :

ويقصد بها الغطاءات الجليدية الصغيرة التى تغطى مساحات محدودة فى بعض الجزر الواقعة فى العروض القطبية ومن أمثلتها عمامة جزيرة نوفايا زمليا Novaya Zemlya وعمامة جزيرة سبيتسبرجن Spitzbergen فى البحر المتجمد الشمالى .

٣ — الحلول الجليدية :

ويقصد بها التكوينات الجليدية التى تغطى بعض المناطق الجبلية فى العروض الباردة وبعض الأقاليم المعتدلة الباردة ، وهى تغطى معظم منحدرات الجبال العالية ، ولكن قد تبرز فى وسطها بعض القمم الجبلية المرتفعة .



شكل (١١٣) نهر جليدى

٤ — الانهار الجليدية :

وهى عبارة عن ألسنة جليدية تمتد من حقول الجليد وتنحدر على جوانب الجبال نحو السهول المجاورة. وهى تتبع فى انحدارها الوديان التى حفرتها المياه من قبل أو مناطق الضعف أو التصدع بين طبقات الصخـور. وأهم ما يميز الأنهار الجليدية عن باقى الأشكال أن جليدها ينحدر بسرعة نسبيا ، وتتوقف هذه السرعة على درجة انحدار سطح الأرض وسرعة تساقط الثلج وتراكمه فى الحقل ودرجة حرارة الجو وشدة احتكاك الجليد بقاع الوادى الذى ينحدر فيه وبجوانبه، لأن هذا الاحتكاك قد يؤدى إلى انصهار بعض الجليد الملاصق لقاع الوادى وجوانبه مما يساعد على سرعة تحركه ، وقد تصل هذه السرعة فى بعض الثلاجات إلى ثلاثين متراً فى اليوم بينما قد تقل عن متر واحـد فى بعضها الآخر. وتكون الحركة غالباً أسرع فى وسط الثلاجة منها على جوانبها. وبسبب هذا الاختلاف تتكون فى الجليد شقوق طولية تمتد فى نفس اتجـاه حركته . وقد تظهر فى الجليد كذلك شقوق عرضية تتقـاطع فى بعض

الواضح مع الشقوق الطولية ، وتتكون هذه الشقوق العرضية فى الغالب نتيجة لهبوط منسوب قاع الوادى الذى يتحرك عليه الجليد بشكل مفاجيء ، وإذا كان الهبوط كبيراً فإنه يؤدى إلى تكوين ما يعرف بالسقط الجليدى Ice - Fall ، وعندئذ تكون الشقوق الطولية والعرضية غائرة وكبيرة .

مظاهر التعرية الجليدية :

إن العمليات التى تتضمنها التعرية الجليدية هى نفس العمليات التى تتضمنها التعرية المائية أو الهوائية من حيث أنها تشتمل على عمليات نحت أو برى وعمليات نقل وعمليات إرساب . ولذلك فعندما ندرس المظاهر الجيومورفولوجية التى تسببها هذه التعرية فإنها تقسم إلى قسمين هما: المظاهر التى تسببها عمليات النحت ، والمظاهر التى تسببها عمليات الإرساب .

أولا ـ مظاهر النحت : أهم هذه المظاهر هى :

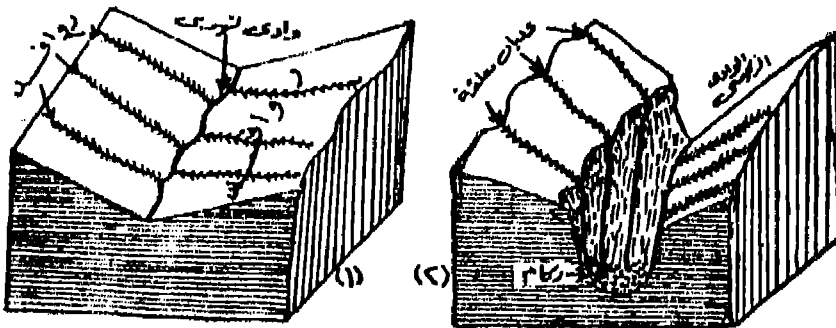
١) الوديان الجليدية ٢) الفيوردات . ٣) الوديان المعلقة .
٤) الحلبات الجليدية ٥) الصخور الغنمية .

١) الوديان الجليدية Glacial Valleys : وهى الوديان التى تنحدر فيها الأنهار الجليدية على جوانب الجبال ، وهى فى الأصل عبارة عن وديان نهرية عادية إلا أن زحف الجليد فيها قد أدى إلى تعميقها وتشكيلها بطريقة تتفق مع طبيعة النحت الجليدى . ومن الثابت أن الجليد له قدرة فائقة على النحت الرأسى ، وهى قدرة تفوق قدرته على النحت الجانبى ، ويرجع ذلك إلى ثقل الجليد واحتكاكه الشديد بالسطح الذى يتحرك فوقه ، وخصوصا إذا كان محملا بقطع صخرية صلبة . ولا يتقيد الجليد فى تحركه بانحناءات الوادى النهرى الذى يتكون فيه بل إنه يعمل غالبا على قطع وإزالة الألسنة الصخرية التى تعترضه والتى تتكون منها الجوانب المحدبة للمنحنيات النهرية ،

ولكل هذه الأسباب فان الوديان الجليدية تتميز عن الوديان النهرية العادية بأنها تكون أكثر منها استقامة ، وأكثر عمقا ، وتكون جوانبها أشد انحدارا بحيث يأخذ قطاعها العرضي شكل حرف U ، كما أنها تكون أقصر بكثير من الوديان العادية ، حيث أن النهر الجليدي يتلاشى عادة بمجرد وصوله إلى الأراضي السهلية المحيطة بالجبال .

٢) الفيوردات Fyords : وهي عبارة عن وديان حفرتها الأنهار الجليدية في جوانب الجبال ثم غمرتها مياه البحر فأصبحت تبدو بشكل خلجان ضيقة متعمقة في اليابس . ويستوي في ذلك إن كانت مياه البحر قد غمرتها بسبب هبوط منسوب سطح الأرض أو بسبب ارتفاع منسوب سطح البحر أو بسببهما معا . وتشتهر السواحل الصخرية في الأقاليم الباردة مثل سواحل النرويج بكثرة هذه الفيوردات .

٣) الوديان المعلقة Hanging Valleys : وهي عبارة عن روافد يعلو منسوب قاعها بشكل واضح عن منسوب قاع الوديان الرئيسية التي تصب فيها ويكون الانتقال بينهما فجائيا بحيث يؤدي إلى تكوين مساقط مائية في حالة



شكل (١١٤) تكوين الوديان المعلقة بعد أن قام الجليد بتعميق الوادي الرئيسي .

وجود مياه جارية فى هذه الروافد وتتكون هذه الوديان فى مناطق الثلاجات إذا استطاع النهر الجليدى الرئيسى أن يعمق واديه أسرع من تعميق الروافد لوديانها . وتوجد أمثلة كثيرة لهذه الوديان فى مناطق الثلاجات القديمة التى كانت تغطى مناطق واسعة فى وسط أوروبا وشمالها وخصوصا فى جبال الألب .

٤) الحلبات الجليدية (السيرك Cirques): وهى عبارة عن حفر دائرية يحفرها الجليد فى أعالى الوديان الجليدية ، ويزداد اتساعها بمرور الزمن نتيجة للنحت الجليدى. وتتكون الحلبة غالبا فى الموضع الذى يلتقى فيه نهر جليدى برافدين أو أكثر من روافده . وتتميز الحلبات الجليدية عموما بأن جوانبها تكون شديدة الانحدار أو قائمة ، وبأنها تنتهى من جانبها الأسفل بعتبة صخرية تفصلها عن الوادى الرئيسى . وعندما ينصهر الجليد فان الحلبات تتحول إلى بحيرات جبلية دائرية الشكل ، وتوجد بحيرات كثيرة من هذا النوع فى جبال الألب وجبال اسكنديناوة وغيرها من الجبال التى كانت كثيرة الثلاجات فى العصور الجليدية .

وتتميز مناطق الحلبات الجليدية كذلك بوجود كثير من القمم الصخرية المدببة ، ويرجع ذلك إلى تآكل المرتفعات التى تفصل الحلبات المتجاورة بعضها عن بعض بواسطة عوامل التعرية حيث تتآكل أجزاؤها اللينة أولا وتبقى اجزاؤها الصلبة بارزة بشكل قمم حادة إلى أن تزيلها التعرية بمرور الوقت .

٥) الصخور الغنمية Roches Moutonnees : وهى صخور تبرز على سطح الأرض فوق قاع الوديان الجليدية، حيث أدى الجليد الزاحف فوقها إلى صقل سطوحها حتى أصبحت تبدو ملساء إلا من بعض الخدوش الطولية التى يسببها احتكاك الجليد الزاحف ببعض القطع الصخرية الصلبة وتوجد هذه الخدوش

بصفة خاصة فى الجوانب العليا لهذه الصخور نتيجة لتأثير الجليد الزاحف عليها من أعلى الوادى . وتكون هذه الجوانب أقل انحدارا من الجوانب السفلى التى تكون عادة أكثر تعقيدا وغير ملساء إذا ما قورنت بالجوانب العليا . وتوجد هذه الصخور فى بعض المناطق التى زحف عليها الجليد خلال العصور الجليدية فى مجموعات تبدو من بعيد وكأنها ظهور الأغنام الرابضة ، وهذا هو الذى أوحى للفرنسيين بأن يطلقوا عليها اسم « الصخور الغنمية » .

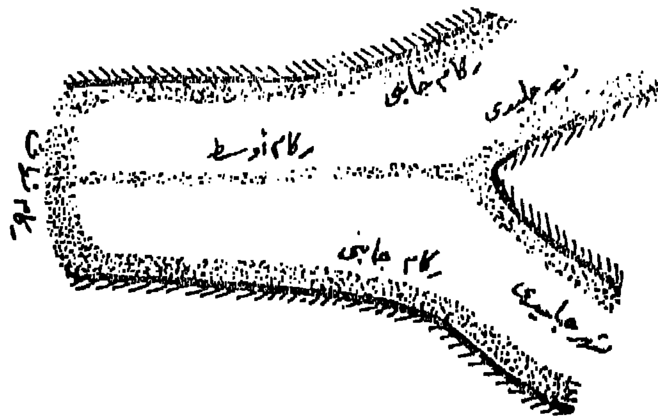
ثانيا — مظاهر الارساب :

تتميز الرواسب الجليدية عن الرواسب المائية بأنها تكون غالبا غير متجانسة ، وبأنها لا تكون مرتبة فى طبقات واضحة لأن الجليد يستطيع أن يحمل أى أجسام صلبة تختلط به مهما كانت أحجامها كبيرة . وتظل هذه الأجسام مختلطة به مادام صلبا فإذا ما أخذ فى الانصهار فإنه يلقى بحمولته دفعة واحدة تقريبا ، فتختلط الأتربة والرمال وقطع الصخور المتباينة الأحجام بعضها ببعض وتتراكم بشكل أكوام تختلف فى أحجامها وأشكالها على حسب كميات الرواسب وطبيعة الأماكن التى تتراكم فيها ، وأهم أنواعها هى :

١) الركامات الجليدية Moraines ، ٢) الكثبان الجادية Drumlins ، ٣) الصخور الشاردة Erratics ، ٤) الرواسب الجليدية الفيضية Glacial-outwash.

١) الركامات الجليدية : وهى عبارة عن نطاقات من الرواسب التى تلقى بها الأنهار الجليدية حينما تسمح الظروف بالقائها فبعضها يترسب على جوانب النهر وبعضها يترسب فى وسطه وبعضها الآخر فى نهايته . وعلى هذا الأساس فانها تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى الركامات الجانبية Lateral Moraines ، والركامات الوسطى Medial Moraines . والركامات النهائية Terminal Moraines .

وتتكون الركامات الجانبية على جانبي وادي النهر الجليدي من المواد الصخرية التي يحملها الجليد من الجانبين أو التي تفتت بفعل التجوية ، ولا يشترط أن يكون الركام الجانبي متصلا بل إنه قد يختفي في بعض المواضع بينما يكون سميكا في بعضها الآخر . أما الركامات الوسطى فتتكون نتيجة لالتقاء رافدين جليديين واتحادهما في نهر جليدي واحد ، فالذي يحدث في هذه الحالة هو أن يتحد الركامان الجانبيان المتجاوران ويتكون منهما ركام واحد وسط النهر ، أما الركامات النهائية فتتكون عند نهاية النهر حيث يؤدي انصهار الجليد إلى إلقاء الرواسب التي يحملها بشكل نطاق يمتد بعرض الوادي .

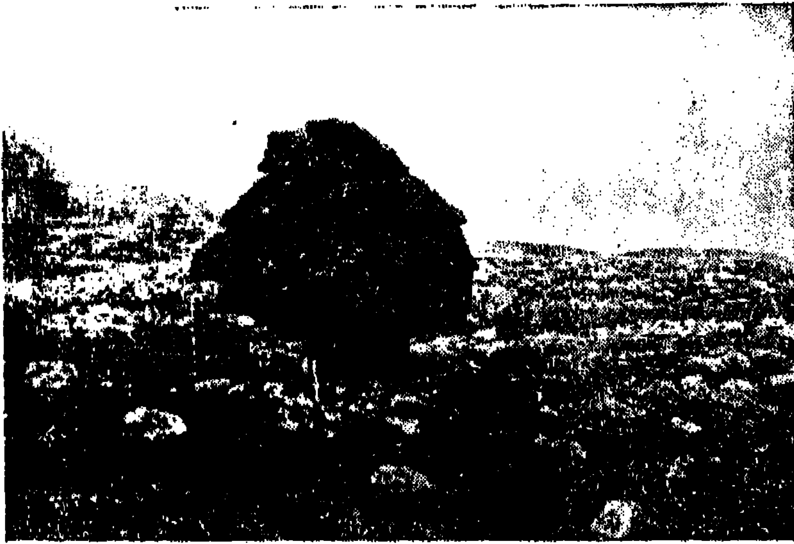


شكل (١١٥) الركامات الجليدية

٢ ـ الكثبان الجليدية : وهي عبارة عن تلال بيضاوية يشبه الواحد منها شكل نصف البيضة ، ولكنها تتباين كثيرا في أحجامها حيث تتراوح ارتفاعاتها بين بضعة أمتار ومائة متر وتتراوح أطوالها بين بضعة أمتار و١٥٠ مترا . وهي مكونة عموما من الصلصال الجلاميدي والرمال والحصى ، وهي في الغالب عبارة عن أجزاء متخلفة من الركامات الجليدية ثم عاد الجليد فزحف على سطحها فأعطاها شكلا بيضاويا يتجه محوره في نفس اتجاه زحف الجليد ،

وكثيرا ما توجد هذه الكثبان فى مجموعات يطلق عليها اسم « حقل الدراملينز » ويطلق البعض على المظهر الطوبوغرافى الذى يتكون منها اسم « طوبوغرافية سلة البيض » .

٣ ـ الصخور الشاردة Erratics وهى عبارة عن كتل صخرية كبيرة الحجم نقلها الجليد من مناطقها الأصلية وأتى بها فى مناطق بعيدة مكونة من صخور مختلفة عنها بحيث تبدو الصخور المنقولة غريبة فى وسطها . ويتخذ وجود هذه الصخور عادة دليلا على وصول الجليد فى زحفه إلى أماكن وجودها ، حيث أن كبر أحجامها يجعل من غير المحتمل أن يكون العامل الذى نقلها هو المياه الجارية أو الرياح .



شكل (١١٦) كتل صخرية شاردة

٤ ـ الرواسب الجليدية الفيضية : وهى الرواسب الجليدية التى اشتركت المياه فى نقلها وترسيبها ومنها الرواسب الجليدية التى تتراكم عند نهايات الانهار

الجليدية ، إلا أن المياه الناتجة عن انصهار الجليد قد حملتها إلى السهول القريبة ووزعتها على سطحها . وهى مكونة من رواسب حصوية ورملية وصلصالية . ونظراً لأن المياه هى التى قامت بتوزيعها فانها تكون مرتبة فى نطاقات يكون أقربها إلى منطقة الجليد مكوناً من الحصى ثم يليه النطاق الرملى ثم النطاق الصلصالى ، وتعرف هذه الرواسب باسم «الاسكرز Eskers» وهى تعتبر نوعا من الرواسب الجليدية الفيضية ، وهى عبارة عن تلال طويلة تمتد لمسافات كبيرة وتكون لها حافات محددة وهى تشبه الركامات فى امتدادها ولكنها تختلف عنها فى أن رواسبها مرتبة بطريقة مشابهة لترتيب الرواسب الفيضية العادية ، أى فى طبقات واضحة ، وذلك لأنها أرسبت فى مياه بعض الأنهار التى كانت تجرى تحت الجليد . وهى تتكون بصفة خاصة من الرمل والحصى المائل للاستدارة .

وهناك نوع آخر من هذه الرواسب يعرف باسم رواسب « الكيم Kame » وهى عبارة عن تلال من الحصى والرمل . وقد تكونت من الرواسب الجليدية التى حملتها مياه بعض الانهار التى كانت تجرى تحت الجليد ثم أعادت ترسيبها . وهى تتميز عن الاسكرز بأنها توجد بشكل أكوام متفرقة وبأن ترتيب رواسبها ليس واضحاً .

الفصل الثاني عشر

عمليات الانهيار والانزلاق على المنحدرات

Landslides and Loudslips

أشكال المنحدرات :

تأخذ منحدرات وجروف المناطق الجبلية اشكالا متباينة على حسب العوامل التي ساهمت فى تشكيلها وأهمها العوامل المتعلقة بالتركيب الصخرى ، وعمليات التجوية ، وعوامل التعرية المختلفة وخصوصا التعرية المائية والتعرية الجليدية والبحرية وكثيرا ماتتدخل حركات الارتفاع والهبوط فى القشرة فى تشكيل المنحدرات والجروف نظرا لما يترتب عليهامن تزايد او تناقص فى نشاط عمليات النحت وعمليات الارساب .

وليس من السهل حصر كل اشكال المنحدرات والجروف والحافات أو حصر أنواعها ، ولهذا فسنكتفى بالاشارة هنا الى اشكالها الرئيسية الاكثر شيوعا فى المناطق الجبلية كما يلى :

١ ـ حافات الكوستات ومنحدراتها (١) .

٢ ـ الحافات القائمة .

٣ ـ المنحدرات والجروف المنتظمة .

حافات الكوستات ومنحدراتها :

يوجد هذا النوع من الحافات فى المناطق الجبلية المكونة من طبقات رسوبية متباينة الصلابة ومائلة ميلا خفيفا فى احد الاتجاهات ، وأهمها مناطق الصخور الجيرية . ففى هذه المناطق تتآكل الطبقات اللينة بسرعة بفعل التجوية والتعرية المائية بينما تبقى

---

(١) راجع ـ سهول الكوستات ـ فى الفصل القادم .

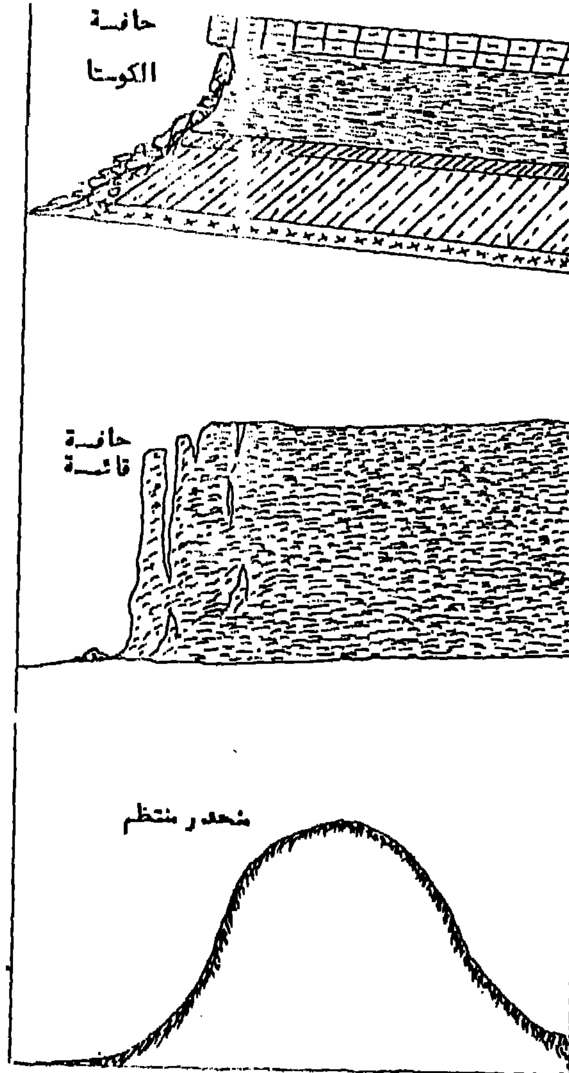
مقدمات الطبقات الصلبة بارزة فوقها حتى تضعف وتفقد توازنها فتنهار . وكثيـــرا ماتبدو مقدمات الطبقات السطحية الصلبة فى أعلى هذه الحافات بشكل شرفات صخريـــة وتبدو هذه الحافات غالبا بشكل جروف شديدة الانحدار وتكثر عليها الانهيــــارات والانزلاقات الصخرية ، وقد تتراكم على سطوحها كميات كبيرة من المواد الصخريـــة الناتجة من هذه الانهيارات فتحمى هذه السفوح من عمليات التجوية والنحت المائـــى ، وفى هذه الحالة تأخذ الأجزاء العليا من الحافة فى التراجع بينما يبقى سفحها فـــى مكانه ويترتب على ذلك تناقص درجة انحدارها وتزايد كميات المواد الصخرية المتراكمـة على سفحها وعلى جانبها حتى تصل الى قرب قمتها . وغالبا ماتستقر على الحافـــة نفسها كتل صخرية ضخمة ناتجة عن انهيار مقدمات الطبقات الصلبـة .

ب ـ الحافات القائمـة :Cliffs

تأخذ هذه الحافات شكل جدران رأسية . وهى توجد على جوانب الهضـاب وال[illegible] يان الصدعية وجوانب الفيوردات وعلى جوانب الهضاب المكونة من طبقات سميكـة من الصخور الجيرية المتجانسة ، حيث تؤدى عمليات التجوية وخصوصا التجويـــة الكيميائية الى تقطيع الصخور بواسطة شقوق ومفاصل متقاطعة ومتعامدة فتحولها الـــى كتل قائمة متراصة لاتلبث أن تنهار نتيجة لاستمرار التجوية والتعرية المائية أو الجليدية ومايترتب عليها من استمرار توسيع الشقوق والمفاصل وتعميقها . فاذا ما انهــارت هذه الكتل فان الحافة تظهر بشكل حائط رأسى . وتعتبر حافات دوفر المشرفـــة على بحر المانش من اشهر هذا النوع من الحافات .

جـ ـ المنحدرات المنتظمـة :

تتكون هذه المنحدرات فى المناطق الجبلية المكونة من طبقات صخرية متجانسة ومتقاربة فى قوة مقاومتها لعمليات التجوية وعمليات التعرية . ويأخذ هذا النوع مـــن المنحدرات غالبا شكلا محدبا فى أعلاه ومقعرا فى اسفله ، اى على امتداد خــط التقائه بقاع الوادى أو السهل المجاور له ، الا اذا كانت قد تراكمت على سفحـــه



شكل (١١٧) الاشكال الرئيسية للمنحدرات

كميات من المواد الصخرية التي انزلقت عليه حيث تتكون من هذه المواد مصطبة رسوبية ينحدر سطحها تدريجيا نحو قاع الوادي أو السهل . وتتكون المواد الصخريـــــة المنحدرة على هذا النوع من الحافات من الحصى وقطع الصخور الصغيرة وقلما تحتـــوى على كتل صخرية ضخمة من نوع الكتل التي توجد على حافات الكوستات ومنحدراتهـــا .

أشكال الانهيار والانزلاق :

تعتبر عمليات الانهيار والانزلاق الأرضية التي تحدث على منحدرات الجبال من العمليات الشائعة في كل المناطق الجبلية ، وهي ذات تأثير هام على تشكيل هذه المنحدرات وتشكيل السهول والوديان المجاورة لها . وتقوم هذه العمليات بأدوار مشابهة للأدوار التي تقوم بها عمليات التعرية المختلفة ، ولكنها تختلف عنها في أنهـا لا تنقل المواد الصخرية تدريجيا وإنما تقوم بنقل كميات ضخمة منها من المنحدرات المرتفعة إلى المنحدرات المنخفضة أو إلى السهول والوديان المجاورة دفعة واحدة وبشكل فجائي في كثير من الأحيان .

وتحدث هـذه العمليات بأشكال مختلفة ، فمنها ما يحدث بشكل انهيار أو سقوط مفاجيء لجزء من الحافة الجبلية ، ومنها ما يحدث بشكل انزلاق للمواد المفككة التي تتجمع على المنحدرات أو بشكل زحف بطيء لقطـاعات كبيرة من التربة . وعلى أساس طبيعة هـذه العمليات وطرق حدوثها يمكننا أن نقسمها إلى الأشكال الآتية :

(١) السقوط (أو الانهيار) الصخرى Rockfall أو Rockslide ويقصد به السقوط أو الانهيار الفجائي لجزء من الحافة الجبلية على الأرض المنخفضة المجاورة لهـا ، (٢) انزلاق الحطام Debris Slide ويقصد به انزلاق المواد الصخرية المفككة التي تتراكم على سطح الحافة ، (٣) الجريان الطيني Mudflow ويقصد به انزلاق المواد الطينية (٤) زحف التربة Soil-creep .

ويلاحظ أن الحركات الثلاث الأولى تحدث عادة بشكل مفاجيء أو سريع جدا . وقد تترتب عليها كوارث مروعة . أما الحركة الأخيرة فبطيئة جدا ولا يظهر أثرها إلا بمرور عشرات السنين .

الانهيار الصخرى Rockfall or Rockslide :

المقصود بهذا الانهيار هو سقوط جزء من حافة الجبل نفسه نتيجة لانفصالها من بقية الحافة . ويحدث ذلك عادة بسبب كثرة الشقوق والمفاصل التي يزداد اتساعها وامتدادها باستمرار نتيجة للتجوية والتعرية ، وخصوصا التعرية المائية ، وقد يتصل عدد منها بشكل يؤدي إلى فصل جزء من الحافة الجبلية عن جسم الجبل، فيهوى هذا الجزء إلى أسفل وكثيرا ماتساعد الهزات الارضية على سرعة انفصال بعض أجزاء الحافة بعد أن تكون الشقوق والمفاصل قد أضعفت اتصالها بها . وقد تؤدى الانهيارات التي من هذا النوع إلى كوارث مروعة إذا ماسقطت على أماكن مسكونة وإذا حدث وسقطت الكتلة المنهارة في ماء البحر فإنها تؤدى إلى حدوث موجات عالية تطغى بسببها المياه على كثير من المناطق الساحلية . والانهيارات المروعة التي من هذا النوع ليست نادرة الحدوث ، ومن أمثلتها الانهيار الذى أصاب إحدى قرى مناجم الفحم في ولاية ألبرتا الغربية في أمريكا ، وهى قرية فرانك Frank التي تقع في واد يشرف عليه جبل تيرتل Turtle بحافة شديدة الانحدار ، ففى صبيحة أحد الأيام فى سنة ١٩٠٣ ، هوت من حافة الجبل كتل صخرية ضخمة يزيد حجمها على ٣٠ مليون متر مكعب فوق القرية فدمرت قسما كبيرا منها وقتلت كثيرا من سكانها (١) . وفى أكتوبر سنة ١٩٦٣ ، حدث انهيار مماثل فى

---

(١) Chester R, Longwell and Richard F. Flint, "Introduction to Physical Geology", (John Wiley), 2nd ed. 1962, p. 134.

فى شمال إيطاليا فى حالة جبل توك الواقع إلى الشمال من مدينة البندقية ، حيث سقطت كتلة صخرية ضخمة من حافة هذا الجبل على سد مائى كبير هو سد فايونت الذى كان يحجز خلفه خزانا سعته ٥٣٠ مليون متر مكعب من الماء . وكان ارتفاع السد نفسه حوالى ٢٦٠ مترا . وقد سقطت الكتلة المنهارة على طرفه الجنوبى فهدمته واندفعت مياه الخزان بقوة ودمرت كل ما فى طريقها وأزالت من الوجود قرية فايونت نفسها ، وقتل فى هـذه الحادثة أكثر من أربعة آلاف نسمة .

وفى هذا النوع من الانهيارات قد تندفع الكتلة المنهارة فى الهواء وتسقط مباشرة على الارض المنخفضة التى تشرف عليها الحافة ، ويحدث ذلك إذا كانت الحافة قائمة أو كان الجزء المنهار منها بارزا إلى الأمام . وسواء هوت الكتلة المنهارة فى الهواء أو انحدرت على جانب الجبل فانها تتهشم غالبا عند سقوطها فتندفع أجزاء منها كالقنابل إلى مسافات كبيرة مما يؤدى إلى زيادة الخسائر الناجمة عنها . وفى حالة انحدارها على جانب الجبل فإنها تندفع إلى أسفل فى قفزات قوية وسريعة بسبب عدم استواء السطح الذى تنحدر عليه . أما فى حالة سقوطها فى الهواء فإن أجزاءها قد تندفع فى خطوط مستقيمة بعيدا عن الحافة فتصل إلى مسافات بعيدة أو تصطدم بالحافات المقابلة . وقد كان ذلك واضحا فى إحدى حوادث الانهيار التى حدثت فى جبال الألب السويسرية سنة ١٨٨١ بالقرب من قرية Elm . حيث انهار القسم العلوى من حافة أحد الجبال فوق منجم للاردواز كان موجودا فى نفس الحافة . وقد ساعد تعمق هذا المنجم فى حافة الجبل على إضعاف تماسك الأجزاء التى تعلوه فهوت بقوة إلى الوادى المجاور . وأهم ما لوحظ فى هذه الحادثة هو أن الكتل الصخرية الساقطة اندفعت فى الهـواء فى خطوط مستقيمة ولم تتوقف

إلا عند اصطدامها بالجانب الآخر للوادى وقد أصبح هذا النوع من الانهيار يشتهر باسم «انهيار إلم الصخرى Elm Rockfall» (١).

وقد يحدث الانهيار الصخرى كذلك بشكل انزلاق سريع لجزء كبير من الطبقة الصخرية السطحية لجانب الجبل ، ويحدث ذلك إذا كانت هذه الطبقة مرتكزة على طبقة أخرى مكونة من مواد قابلة للتفكك والامتزاج بالماء مثل المواد الطينية والصلصالية، فعندما تتسرب المياه إلى هذه الطبقة تحولها إلى مادة طينية لينة ، فتنزلق عليها الطبقة التى فوقها . وقد كان هذا واضحا فى الانزلاق الذى حدث فى سنة ١٩٢٥ فى جنوب يلوستون بارك Yellow Stone Park فى ولاية ويومنج Wyoming ، حيث انزلقت شريحة ضخمة من طبقة الصخور الرملية التى تغطى المنحدر المطل على وادى جروس فنتر Gross Ventre نحو هذا الوادى نتيجة لسقوط أمطار غير عادية ، وتسرب المياه إلى الطبقة الصلصالية التى ترتكز عليها طبقة الصخور الرملية السطحية ، مما أدى إلى تحولها إلى مادة طينية لينة فانزلقت عليها هذه الطبقة بقوة نحو الوادى فسدته وتكونت نتيجة لذلك بحيرة كبيرة فى مجراه .

انزلاق الحطام Debris Slide :

المقصود بهذا الانزلاق هو الانحدار السريع للمواد الصخرية المتراكمة على المنحدرات نحو السهول أو الوديان المجاورة . وأهم العوامل التى تسبب هذا الانزلاق هى سقوط الأمطار بغزارة شديدة يترتب عليها تشبع هذه المواد بالماء مما يسهل انزلاقها إلى أسفل حيث تتراكم عند السفح . فإذا حدث وانزلقت إلى أحد الوديان فإنها تسده ، وقد تؤدى إلى تكوين بحيرة فى مجراه.

(١) نفس المرجع P. 125 .

ويستخدم فى وصف المواد الصخرية المتراكمة على جوانب المنحدرات تعبيران هما Regolith و Talus ، والمقصود بالتعبير الاول هو المواد المفككة المتراكمة على الصخور بدون نظام ، أما المقصود بالتعبير الثانى فهو المواد التى تتراكم فى أكوام كبيرة مقوسة إلى الخارج ويحدث هذا نتيجة لتوقف زحف المواد الصخرية فى أحد المواضع واستمرار تراكم المواد المنحدرة من أعلى فوقها . إلا أن الأكوام التى تتكون بهذا الشكل تكون دائما عرضة للانهيار والانزلاق إلى أسفل . ويكفى لانهيارها سقوط أى جسم ثقيل فوقها أو حدوث أى هزة أرضية أو سقوط الأمطار بغزارة عليها .

الجريان الطينى Mud flow :

المقصود بهذا الجريان هو الانحدار السريع للمواد الصخرية المختلطة بالطين نتيجة لزيادة المياه التى تسقط عليها بدرجة تفوق ما يلزم لتشبعها . فينتج عن ذلك تحولها إلى خليط طينى صخرى سريع الحركة . وكلما زادت المياه المختلطة بهذه المواد زادت سرعة جريانها . وكثيرا ما يبدأ الجريان الطينى فى أعلى الجبل بشكل نهر مائى عادى عند سقوط الأمطار بغزارة ، ولكنه سرعان ما يتحول إلى نهر طينى بسبب اختلاط المياه عند انحدارها السريع بالمواد الطينية والصخرية التى تصادفها ، وكلما انحدرت المياه دفعت أمامها مزيدا من المواد الصخرية والطينية حتى يتكون منها فى مقدمة النهر مايشبه السد الرسوبى الثقيل الذى يتحرك ببطء . وينتج من ذلك تجمع المياه الطينية على جانبه الأعلى حتى إذا ماوصل إلى الأرض المنخفضة فإنه ينهار بسرعة فتطغى المياه الطينية بما تحمله من صخور على المناطق المجاورة مسببة خسائر جسيمة فى كثير من الأحيان .

ويظهر مثل هذا الجريان غالبا فى الأقاليم شبه الجافة ، حيث يكون الغطاء

النباتي الذي يحمي التربة فقيرا ، فاذا ما سقطت الأمطار بغزارة وبشكل مفاجيء فإنها تؤدي إلى ظهور أنهار مؤقتة تجرف أمامها المواد الصخرية والمواد الطينية التي تكونت بسبب عمليات التجوية خلال فترات الجفاف الطويلة ، فاذا ما انتهت هذه المواد إلى واد رئيسي فانها تبقى على قاعه حتى تجف بسبب تبخر مياهها وتسربها ، فتتكون منها كتلة صلبة متماسكة لا يسهل تحريكها بعد ذلك .

زحف التربة Soil creep :

المقصود بزحف التربة هو انزلاقها ببطء شديد على جوانب المنحدرات . وهي ظاهرة موجودة على كل المنحدرات مهما كان انحدارها بسيطا إذ أن قوة الجاذبية تعمل باستمرار على زحف التربة إلى أسفل . وكثيرا ما يكون هذا الزحف غير محسوس ، ومع ذلك فمن الممكن الاستدلال عليه بواسطة الانحناء الذي يطرأ على أعمدة التليفون أو الأشجار أو الأسوار حيث يبدو أغلبها مائلا نحو المنحدرات السفلى . وتتأثر عملية الزحف بعوامل كثيرة مثل درجة الانحدار وطبيعة السطح وتركيب التربة ونسيجها وكثافة الحياة النباتية التي تغطيها وكثرة المياه التي تختلط بها وماينتشر عليها من مظاهر النشاط البشري والعمراني وما يعيش فوقها من حيوانات مستأنسة أو غير مستأنسة بما في ذلك الحشرات والحيوانات الحفارة وغيرها .

وتشتهر المناطق الباردة والقطبية بنوع خاص من زحف التربة يعرف باسم « زحف التربة الجليدي Solifluction » ففي كثير من هذه المناطق تكون الارض التي ترتكز عليها التربة السطحية متجمدة باستمرار Permafrost حتى عمق يزيد أحيانا على ١٥٠ متر ، بينما لاتتجمد التربة السطحية إلا في الشتاء ، فاذا مابدأ الدفء في فصل الربيع فان التربة السطحية تنصهر وتتشبع بالماء ،

وتتزايد المياه بها كلما تقدم فصل الصيف، لأن تجمد الطبقات التي تحتها لا يسمح لمائها بالتسرب إلى أسفل ، ويترتب على ذلك انزلاقها تبعا لاتجاه الانحدار.

ويظهر في هذه المناطق كذلك شكل آخر من أشكال زحف التربة ، وهو يحدث غالبا بسبب تجمد المياه في مسام التربة وفجواتها ، لأن تجمد هذه المياه يؤدي إلى زيادة حجمها فيساعد ذلك على تفكك التربة وتسهيل زحفها بمجرد انصهار الثلج الموجود في مسامها وفجواتها وهذه العملية هي في الواقع عملية من عمليات التجوية الآلية .

وقد يحدث في بعض الأحيان أن تمتد المياه المتجمدة في طبقات محصورة بين طبقات التربة الصلصالية أو الطينية ، فيؤدي تجمدها بهذا الشكل إلى دفع طبقات التربة التي فوقها إلى الخارج قليلا ، فاذا ما انصهرت الطبقات المتجمدة فان طبقات التربة التي فوقها لا تكون ملتصقة تماما بالمنحدر الذي تحتها فتنهار إلى أسفل ، وقد يحدث انهيارها في بعض الأحيان في اتجاه رأسي[1].

---

(١) نفس المرجع ص ١٤٥ .

الفصل التاسع عشر

المياه الجوفية

المياه الجوفية كجزء من مياه القشرة الارضية :

تمثل المياه الجوفية بمعناها المألوف نسبة صغيرة من المياه التى توجد فى كل القشرة الارضية، والتى تشكل فى مجموعها حوالى ٤,٢ ٪ من الغلاف المائى الكلى للأرض . وتشكل المياه الجوفية وحدها حوالى ٦,٥ ٪ من هذه النسبة و ٠,٢٧ ٪ فقط من الغلاف المائى كله (١) والمياه الجوفية التى نقصدها هى المياه التى توجد فى تكوينات صخرية تسمح بتحركها واستخراجها بحفر الابار او الحصول عليها بعد انبثاقها على السطح بشكل عيون او نافورات .

اما مياه القشرة الاخرى فليس من الممكن الاستفادة بها ، لأن معظمها يدخل فى تركيب المعادن والصخور ولا يمكن فصله عنها ، كما يوجد بعضها محبوسا فى احواض منعزلة على اعماق سحيقة لا يسهل الوصول اليها ، ويطلق عليه جيولوجيا اسم الماء المقرون Connate water . وهو ماء حار شديد الملوحة، وترجع نشأته الى العصور الجيولوجية التى تكونت فيها الصخور التى انحبس بداخلها . ولهذا فان عمره يقدر ببلايين السنين . ونظرا لانعزاله التام فانه لا يدخل فى الدورة المائية العامة، ولا يتغير حجمه بمرور الزمن .

والمصدر الاساسى للمياه الجوفية هو مياه الأمطار او الثلوج المنصهرة، سواء بتسربها فى التربة والصخور مباشرة او بتسربها من الانهار وغيرها من المسطحات المائية، مع ملاحظة ان هذا لا ينطبق على الماء الذى يدخل فى تركيب المعادن والصخور أو الماء المقرون المشار اليه .

نطاقات المياه الجوفية : توجد هذه المياه فى نطاقين رئيسيين هما :

١ ـ نطاق المياه الجوفية السطحية ويطلق عليه اسم نطاق التشبع المتقطع Zone of intermittent saturation وهو يتداخل فى أعلاه فى نطاق التربة، ويتكون

---

(1) Lvovich, ..., "The Worlds Water", Moscow 1973, The English Translation by Stoklitsky.

من النطاقين معا نطاق كبير يعرف باسم " نطاق التهوية "Zone of Aeration" وتوجد بعض الاختلافات الجوهرية بين هذين النطاقين ، فبينما يكون نطاق الميـــاه الجوفية السطحية مشبها في أغلب الحالات بمياه طليقة تتحرك بسهولة نحو العيـــون والآبار فإن مياه نطاق التربة تكون عبارة عن غشاءات رقيقة جدا حول حبيباتها ، ولا يسهل تحركها خلال المسام بشكل يسمح باستغلالها كمورد مائي ، ولكنها يمكن أن ترتفـــع الى السطح بتأثير الخاصة الشعرية حيث تتعرض للتبخـــر .

٢ ـ نطاق المياه الجوفية العميقة ، ويطلق عليه اسم نطاق التشبع الدائـــم Zone of Permanent Saturation وهو النطاق الرئيسي للمياه الجوفيـــة ، التي توجد عادة في طبقات رسوبية نفاذة Permeable تنتمـــي الـــى عصور جيولوجية تتتابع في قدمها من أعلى الى اسفل ، وتنفصل بعضها عن بعض طبقـات غير نفاذة Impermeable تحول دون تسرب مياهها إلى أعلى أو الى أسفـــل ، ويطلق على المياه الجوفية في هذا النطاق اسم " المياه الجوفية العميقة ". وليـــس هناك عمق محدد للمستوى الذي توجد عنده هذه المياه لأن هذا العمق يتوقف علـــى سمك الطبقات التي تعلو الطبقة الحاملة للماء وعلى تضاريس سطح الأرض ، ولهـــذا فبينما يصل بعد بعضها عن السطح اكثر من الف متر فان بعضها الآخر قد يكـــون مجاورا للسطح ، بل وقد يظهر فوقه أحيانا بشكل بحيرات ، كما هي الحال في بعض المنخفضات التي يصل قاعها الى الطبقة الحاملة للماء ، ومن بينها كثير من المنخفضات الصحراويـــة .

<u>المياه الجوفية السطحية :</u>

توجد المياه الجوفية السطحية غالبا في تكوينات صخرية حديثة من أهمهـــا التكوينات الرسوبية التي تراكمت منذ الزمن الجيولوجي الرابع حتى الآن ، ومن أهمهـــا التكوينات الرسوبية لوديان الانهار ودلتاواتها ، والركامات الجليدية والكثبان الرمليـــة ، كما توجد كذلك في شقوق الصخور النارية ومفاصلها ، وفي كهوف وسراديب الصخـــور الجيرية في المناطق الكارستية .

وترتبط هذه المياه ارتباطا مباشرا بالجو عن طريق مسام التكوينات التي فوقه ، ولهذا فانها تتغير من وقت الى آخر على حسب نظام سقوط الامطار حيث تزداد في مواسم المطر وتنقص في مواسم الجفاف ، بل انها قد تنضب أحيانا اذا توقف سقوط المطر لفترات طويلة . وهي تتعرض كذلك للتبخر عند ارتفاعها إلى السطح عن طريق مسام التكوينات التي فوقها ، كما أن درجة حرارتها تتغير من فصل الى آخر على حسب درجة حرارة الجو .

ويتباين منسوب سطح هذه المياه من موضع الى آخر على حسب تضاريس سطح الارض ، ولهذا فان أعماق الآبار التي تحفر فيها قد تزيد على مائة متر في المناطق المرتفعة وتقل عن متر أو مترين ، بل وقد تنبثق على السطح في مواضع اخرى ، واذا كانت التكوينات التي تعلوها دقيقة الحبيبات فانها ترتفع تدريجيا إلى أعلى بتأثير الخاصية الشعرية فتصل الى السطح أو تتداخل في مياه التربة ، وفي هذه الحالة لايظهر لها سطح محدد . ونظرا لعدم وجود طبقات صماء فوق هذه المياه فانها توصف بأنها مياه غير محصورة Unconfined تمييزا لها عن المياه العميقة التي توصف بأنها مياه محصورة Confined .

المياه الجوفية العميقة :

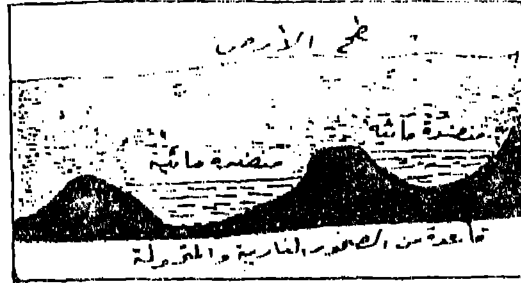
وهي توجد ، كما ذكرنا ، في طبقات نفاذة محصورة بين طبقات اخرى غير نفاذة ولاتتصل بالجو إلا حيثما تظهر مكاشفها على السطح ، وهي المكاشف التي تتغذى من خلالها بمياه الأمطار . ولهذا فانها توصف بالمياه المحصورة " . وهي لاتدخل في الدورة المائية العامة الا بصورة محدودة ، وخصوصا اذا كانت طبقتها على عمق كبير من السطح .

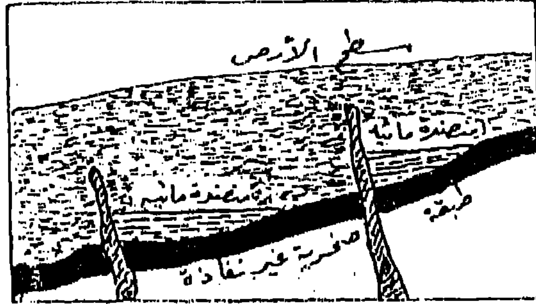
وبخلاف المياه السطحية التي قد تتغير من فصل إلى آخر بسبب ارتباطها المباشر بالاحوال الجوية ، فإن تأثير هذه الاحوال على المياه العميقة لايظهر إلا على المدى الطويل اذا توقف سقوط المطر على مناطق تغذيتها لفترات طويلة جدا ، أو إذا زاد معدل ما يستخرج منها عن معدل تغذيتها بواسطة الامطار التي تسقط على منطقة التغذية .

ونظرا لبطء حركة المياه فى مسام الصخور فان رحلتها فى الطبقات الحاملة لها من مناطق التغذية الى الاماكن البعيدة عنها تستغرق احيانا بضع مئات أو آلاف من السنين على حسب طول المسافة وسرعة تحرك الماء فى الصخر . ولهذا فان بعض المياه الموجودة فى بعض الطبقات قد يرجع تاريخه إلى العصر المطير فى أواخر البليستوسين . وبسبب قدم هذه المياه وطول رحلتها فى الطبقات الصخرية فإنها تكون عادة اكثر ملوحة من المياه الجوفية السطحية ، أما درجة حرارتها فتكون عادة ثابتة بسبب عدم تأثرها بحرارة الجو ، وهى عادة انقى وأقل تلوثا من المياه السطحية لأن الاخيرة تتعرض للتلوث عن طريق ما ينقل اليها بواسطة المياه المتسربة من السطح من ملوثات عضوية وكيمائية مثل الملوثات التى تحملها مياه الرى من الحقول التى تستخدم فيها الأسمدة العضوية والكيمائية .

منسوب سطح المياه الجوفية (المنضدة المائية) :

يطلق على سطح الطبقات المائية الجوفية فى اللغة الانجليزية تعبير Water Table اى المنضدة المائية . وتعريفها العلمى هو أنها " هى السطح الذى يحدد منسوب سطح الماء فى الآبار التى تستمد ماءها من طبقة مائية معينة" . وتختلف هذه المنضدة فى المياه الجوفية السطحية (غير المحصورة) عنه فى المياه الجوفية العميقة (المحصورة) . فبينما يكون سطح المنضدة واضحا ومتصلا وثابتا تقريبا فى المياه العميقة ، فان سطحها فى المياه الجوفية السطحية يتوقف على نظام سقوط المطر او انصهار الجليد وعلى تضاريس سطح الارض . فهى ترتفع وتنخفض تبعا لاشتداد الامطار وقلتها ، كما تكون اكثر ارتفاعا فى الاراضى المرتفعة عنها فى الاراضى المنخفضة المجاورة لها . ولهذا فانها لاتمتد غالبا بشكل افقى . كما انها لاتكون احيانا واضحة تماما ، وهو مايحدث غالبا فى المناطق المكونة من رواسب ناعمة لأن المياه تميل للارتفاع تدريجيا فى هذه الرواسب بتأثير الخاصة الشعرية فلايكون لها فى هذه الحالة سطح محدد واضح ، بل انها تتداخل تدريجيا فى مياه التربة . وفى بعض أنواع الصخور لاتظهر للمياه الجوفية السطحية منضدة مائية واضحة متصلة ، بل تظهر عادة مناضد محلية على مناسيب مختلفة على حسب مناسيب المواضع التى تتجمع فيها المياه .





شكل (١١٨) مناضد مائية مخلية :
(أ) فوق قاعدة منطقة من الصخور النارية والمتحولة.
(ب) بسبب وجود سدود نارية.



شكل (١١٩) ماء مرفوع (جاثم)

كما هى الحال فى مناطق الصخور النارية والمتحولة التى تتجمع فيها المياه فى فراغات وأحواض متفرقة ، وكذلك فى مناطق التكوينات الجيرية الكارستية التى توجد مياهها الجوفية فى كهوف وسراديب بعضها متصل وبعضها الآخر غير متصل ، وكذلك فى مناطق الصخور الرسوبية التى تخترقها سدود رأسية (شكل ١١٨) .

وقد يحدث فى بعض التراكيب الجيولوجية أن تتكون طبقات مائية محدودة المساحة فى مستويات أعلى من مستوى منسوب الطبقة المائية الرئيسية التى تكون عادة غير محصورة . ويطلق على هذه المياه تعبير المياه المرفوعة أو الجاثمة "Perched" وهى توجد عادة فى المناطق التى تتخللها عتبات Sills صخرية غير نفاذة وممتدة فى اتجاه أفقى . ففى هذه المناطق تتجمع بعض المياه المتسربة من أعلى فوق هذه العتبات فتتكون منها خزانات صغيرة من المياه الجوفية ، ويترتب على هذا أن بعض الآبار تصل الى هذه الخزانات فتعطى تصريفا مائيا يتناسب مع حجم الخزان ، بينما تكون الآبار الأخرى الواقعة خارجها عديمة المياه (شكل ١١٩) .

العلاقة بين التركيب الصخرى وتكوين الخزانات المائية الجوفية :

ليست العبرة فى المياه الجوفية بوجود الماء فى التكوين الصخرى وإنما العبرة بإمكانية تحرك هذا الماء فى الفراغات الصخرية ووصوله الى العيون والآبار ، وتتباين الصخور فى هذه الناحية تباينا كبيرا ، ولهذا فإن دراسة الفراغات الصخرية drstires تعتبر موضوعا رئيسيا فى تقدير القيمة الحقيقية للمياه المخزونة فى التكوينات المختلفة .

ويطلق تعبير الخزان المائى الجوفى ، أو التركيب الحامل للماء Aquifer على التركيب الصخرى النفاذ الذى تسمح فراغاته بتخزين الماء وتحركه . والمقصود بالفراغات هو كل الفتحات التى توجد فى الصخر مهما تباينت أحجامها وأشكالها أو عوامل نشأتها ، فمنها ماتكون أشبه بالحجرات أو الكهوف أو السراديب الكبيرة ، كما هى الحال فى الصخور الجيرية الكارستية ، ومنها ماتكون شقوقا وفوالق غائرة ، كما هى الحال فى الصخور النارية والمتحولة ، أو تكون عبارة عن مسام تتراوح فى احجامها بين المسام الكبيرة للصخور الرملية والحصوية و المسام المتناهية الدقة للمواد الطينية والصلصالية

ويتوقف حجم المسام في الصخور على نسيج الصخـــر وتركيبـــه ٠ والمقصود بالنسيج Texture هو حجم الحبات التي يتركب منها الصخـــر ٠ أما تركيبه Structure فيقصد به الطريقة التي تتكتل بها الحبات مع بعضها في وحدات اكبر ٠ وتتأثر درجة نفاذية الصخر بدرجة تناسق نسيجه ونقائه ٠ فالصخر المكون من رمل نقي متناسق يكون عادة اقدر على حمل الماء من نظيره الذي تختلط حباته ببعض الرواسب الصلصالية ، لأن هذه الرواسب تدخل في مسامه وتحتل اجزاء كـــان من الممكن أن يحتلها الماء ٠ ولهذا فان دراسة نسيج الصخر وتركيبه الميكانيكـــي المبني على أساس النسب المئوية لأحجام الحبات التي يتكون منها ترتبط ارتباطـــا وثيقا بدراسة فراغاته ٠ وبتحليل التركيب الميكانيكي لعدة آلاف من عينات التربة فـــي الولايات المتحدة قسمت المواد الصخرية على أساس قطر حباتها بالمليمترات إلـــى الأنواع التاليـــة [1] :

النـــوع	قطر الحبات بالمليمترات
حصى صغير	٢ ـ ١
رمـل خشـــن	١ ـ ٠,٥
رمـل متوســط	٠,٥ ـ ٠,٢٥
رمـل ناعـــم	٠,٢٥ ـ ٠,١
رمل شديد النعومة	٠,١ ـ ٠,٠٥
طمـــى	٠,٠٥ ـ ٠,٠٠٥
صلصـــال	اقل من ٠,٠٠٥

وعلى الرغم من أن فراغات الصخور ترتبط عادة بنسيجها وتركيبها ، فإن هذه الفراغات تتباين في أنواعها واشكالها تباينا كبيرا ، وهي تقسم عموما على أســـاس نشأتها إلى نوعين كبيرين هما : أ ـ فراغات أصلية في الصخر ، وهي التي تتكـــون

(1) Dixey, F., "A Practical Handbook of Water Supply", ... and Co., London, 1950.

منذ اثناء نشأته الاولى ، وأهمها المسام التى توجد بين حبات الصخور الرسوبية ،

ب ــ مراغات ثانية او ثانوية Secondary وهى التى تتكون فى مراحل تالية نتيجة لعوامل جيولوجية او مناخية او حيوية مثل الشقوق والفوالق والكهوف والسراديب التى تنتج عن الذوبان أو التبريد او التصدع والفراغات التى تحدثها الحيوانات الحفارة وجذور النباتات .

ويوصف الصخر بأنه نفاذ [illegible] اذا كان قادرا على تخزين الماء والسماح له بالحركة ، وغير نفاذ [illegible] اذا لم يكن يسمح بمرور الماء خلال مسامه ، وهنا يجب ان نفرق بين مسامية الصخر Porosity ونفاذيته ، فالمسامية هى السعة الكلية لمجموع الفراغات التى بداخله ، وهى تحدد على أساس النسبة المئوية لمجموع ما تشغله هذه الفراغات من جسم الصخر (١) .

ولتوضيح الفرق بينها وبين النفاذية نذكر على سبيل المثال أن الصخور الطينية توصف غالبا بعدم النفاذية بينما توصف الصخور الرملية بالنفاذية مع العلم بأن مسامية الاولى اكبر بكثير من مسامية الثانية . وتعليل هذا هو أنه على الرغم من أن نسبة المسامية هى التى تحدد كمية الماء التى يمكن أن يحملها الصخر حتى يتشبع بالماء فان هذا لايعنى أن كل الماء الموجود فى مسامه يمكنه أن يتحرك بصورة تسمح باستخدامه أو بمساهمته فى الدورة المائية ، لأن هذا التحرك لايحدث الا اذا كانت المسام كبيرة بدرجة تسمح بترك بعض الماء غير ملتصق التصاقا شديدا جدا بجدران المسام ، كما هى الحال فى التكوينات الصلصالية التى يكون كل ما بها من ماء ملتصقا التصاقا تاما بجدران مسامها فلايمكنه أن يتحرك تحت الضغط العادى ، وان كان من الممكن أن يتحرك اذا تعرض الصخر لضغط أشد (٢) .

وتتراوح المسامية فى المواد الصخرية بين ٨٠ و ٩٠٪ فى المواد الصلصالية الرسوبية وأقل من ١٪ فى الصخور النارية والمتحولة . وقد تنخفض إلى الصفر فى الصخور الصماء الموجودة تحت القشرة أو فى أجزائها العميقة حيث تتعرض هذه

---

(1) Lvovich, M., Op. Cit.

(2) Ward, R.C., " Principles of Hydrology", London, 1967. PP.238-302.

الصخور للضغط والحرارة الشديدين لدرجة لاتسمح بالماء أى فراغات بها .

حركة المياه الجوفية :

تتدرج الصخور فى مقدرتها على السماح للماء بالحركة من صخور شديدة النفاذية تسمح فراغاتها بتكوين خزانات مائية تتحرك فيها المياه بسهولة مثل الصخور الرملية ويطلق عليها تعبير Aquifers إلى صخور ضعيفة النفاذية يمكنها أن تختزن الماء ولكنها لاتسمح بحركته الا بصعوبة شديدة مثل الصخور الطينية ويطلق عليها تعبير Aquicludes ، وأخيرا الى صخور عديمة النفاذية لايمكنها أن تختزن الماء أو تسمح بحركته مثل الصخور النارية والمتحولة . ويطلق عليها تعبير aquifuge ، وهذا بغض النظر عن الفواصل والشقوق التى توجد فى هذه الصخور والتى يمكن أن تمتلئ بكميات من الماء تكفى للاستغلال ، فهذه الفواصل والشقوق تدخل ضمن الخزانات المائية Aquifers .

وتتباين سرعة حركة المياه الجوفية فى مسام الصخور على حسب درجة نفاذيتها ، واتصال مسامها وفراغاتها بعضها ببعض، ودرجة ميل الطبقة الحاوية لها . فكلما كان نسيج الصخر دقيقا قلت سرعة حركة الماء خلاله حتى أنها قد لاتزيد عن جزء صغير من المليمتر فى اليوم . وعلى العكس من ذلك فانها قد تصل فى بعض الصخور ذات الفراغات الكبيرة والمتصلة ببعضها مثل فراغات الصخور الطباشيرية الى عدة آلاف من الامتار فى اليوم ، الا أن السرعة قد تتغير كثيرا من مكان الى آخر تبعا لتغير التركيب الصخرى ، وكمية المياه المتحركة .

وكما هى الحال بالنسبة للمياه السطحية فان المياه الجوفية تميل الى اتباع خطوط الضعف فى التركيب الصخرى حيث تقل المقاومة ، ولهذا فان حركتها تتجه عادة إلى الفراغات الكبيرة المتصلة ببعضها .

ومن المهم جدا تحديد اتجاه حركة المياه الجوفية وقياس سرعتها حتى يمكن تحديد مناطق تغذيتها وتحديد الكميات التى يمكن أن تتغذى بها الطبقة الحاملة لها ، وتحديد المدة اللازمة لوصولها إلى مناطق استخراجها، ومقدار الكميات

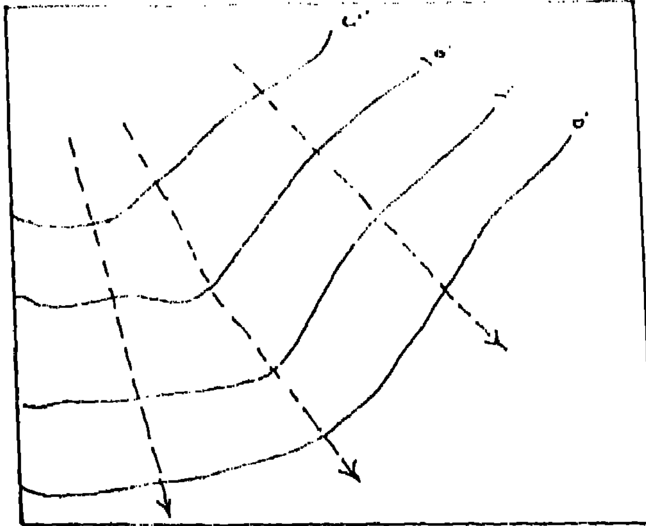
التي يمكن استخراجها دون أن ينخفض منسوب الطبقة المائية اكثر مما يجب أو تتأثر نوعية مائها فتزداد ملوحتها . وهذا يتطلب دراسات دقيقة ومفصلة للظروف المناخية ومظاهر السطح ونظام التصريف المائي السطحي والتركيب الجيولوجي والغطاء النباتي في مناطق التعدين .

وكثيرا ما تكون حركة المياه من التكوينات الحاملة لها بطيئة بدرجة يصعب معها تحديد اتجاهها أو سرعتها مما يتطلب دراسات وملاحظات دقيقة خلال فترة طويلة . وعلى العكس من ذلك قد تتدفق المياه الجوفية في بعض التكوينات بقوة لا تقل عن قوة تدفق المياه السطحية الهادرة ، حتى انها كثيرا ما تندفع بشكل شلالات تحت الارض ، او على جوانب الجبال في نهاية المجارى السفلية . وتكثر هذه الظاهرة بصفة خاصة في مناطق التكوينات الكارستية . وفي كل الحالات فان المياه الجوفية تخضع في حركتها للقوة الجاذبية ، شأنها في ذلك شأن المياه السطحية ، اى أنها تميل دائما للانحدار في نفس اتجاه انحدار الطبقات الحاملة لها ، وهو نفس اتجاه انحدار المنضدة المائية (1) .

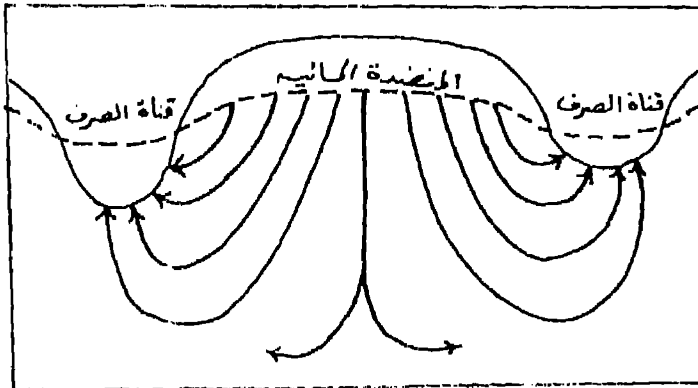
ومن الممكن توضيح اتجاه انحدار المنضدة المائية بالخطوط الكنتورية ، وعلى الرغم من أن المياه تنحدر عموما مع انحدار هذه المنضدة فان الحركة العامة للمياه الجوفية تكون غالبا افقية أو قريبة من الافقية . وفي حالة المياه الجوفية غير المحصورة [illegible] يكون اتجاه حركتها متقاطعا مع الخطوط الكنتورية بزوايا قائمة تقريبا (شكل ١٢٠) .

وبالاضافة الى الحركة الافقية العامة للمياه فقد تظهر بها كذلك بعض الحركات الرأسية في ظروف خاصة ، مثل انحدارها تحت السطح من اراض مرتفعة نحو المنخفضات أو الوديان المجاورة ، او انحدارها من تحت سطح الحقول الزراعية المروية نحو القنوات والمصارف التي تخترقها . ففي مثل هذه الظروف يتحرك الماء أولا الى اسفل تحت الارض المرتفعة قبل ان يعود للارتفاع مرة اخرى في القنوات او المنخفضات حتى يصل الى منضدتها المائية (شكل ١٢١) ومثل هذا يحدث كذلك

(1) Ward, R.C., Ibid.



شكل (١٢٠) اتجاه حركة المياه الجوفية عمودياً على الخطوط الكنتورية الموضحة لها



شكل (١٢١) طريقة انتقال الماء الجوفي من ارض مرتفعة الى قنوات او ارض منخفضة بجوارها

من الاراضي المرتفعة التي تعمل بها الروافد النهرية ، وكثيرا ما تنشأ المستنقعات في الاراضي المنخفضة المحصورة بين اراض اكثر ارتفاعا بسبب انحدار الماء اليها بالطريقة المذكورة ، وارتفاع منسوب المنضدة المائية فيها تبعا لذلك .

وعلى اي حال فان انتقال الماء من تحت المرتفعات الى المنخفضات المجاورة يظل مستمرا طالما بقيت المنضدة المائية تحت المرتفعات اعلى منها في المنخفضات ، الا أن عملية التوازن البطيء هذه تعمل بالتدريج على توحيد منسوب المنضدة في المناطق حتى تأخذ وضعها الافقي ، وعندئذ يتوقف تسرب الماء من المرتفعات الى المنخفضات . وهكذا فان هناك علاقة طردية بين تضاريس سطح الارض وبين منسوب المنضدة المائية ، بمعنى ان منسوب المنضدة يكون في المرتفعات اعلى منه في المنخفضات المجاورة . ولتفسير ذلك يمكننا ان نقارن بين منطقتين متجاورتين احداهما مرتفعة والثانية منخفضة وان نفترض ان ماء المطر يتسرب فيهما بسرعة واحدة ، فإن كانت الطبقة التي يتجمع فيها الماء مكونة من مواد ناعمة فان انصراف مياهها نحو المنطقة المنخفضة يكون أبطأ من وصول المياه المتسربة اليها من أعلى ، ويترتب على ذلك تزايد ارتفاع منسوب منضدتها المائية طالما استمر سقوط المطر ، ثم يحدث التوازن بعد ذلك ولكن ببطء شديد . أما إذا كانت الطبقة الحاملة الماء ذات نسيج خشن ، أو كانت كثيرة الشقوق والفواصل فان عملية التوازن تتم بسرعة نتيجة لسرعة تحرك الماء ، فلا تلبث المنضدة المائية أن تأخذ وضعها الأفقي تحت المنطقتين في وقت قصير نسبيا .

إلا أن العلاقة بين تضاريس سطح الارض والمنضدة المائية لاتكون دائما طردية ، بل انها كثيرا ما تنعدم بسبب تعقد التراكيب الجيولوجية مثل وجود بعض الطبقات غير النفاذة في طريق المنضدة المائية مما يؤدي الى تقطيعها وظهور اجزائها في مستويات مختلفة .

المياه الارتوازية :

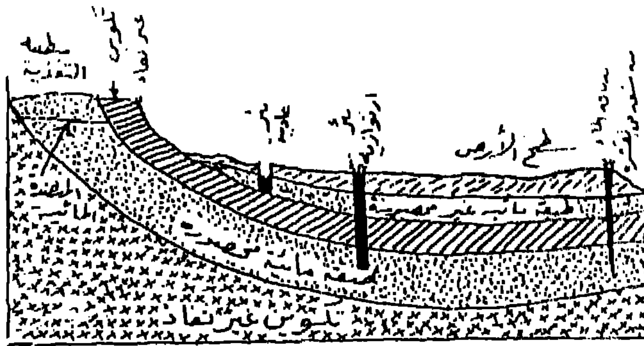
ان تعبير " الماء الارتوازي " Artesian Water " مرادف لتعبير " الماء المحصور " Confined Water " الذي شاع استخدامه في الوقت

الحاضر . وأهم صفات هذا الماء هي ان الطبقة الحاملة له تكون واقعة تحت طبقـــة غير نفاذة تحول دون اتصالها بالجو ، ويكون حد رتعديتها واقعا في منطقة مرتفعة مما يؤدى الى زيادة الضغط المائي فيها ، ولهذا السبب فان ماءها يندفع إلى أعلى بمجرد أن يخف الضغط الواقع عليه سواء بسبب الحركات الأرضية او حفر الآبـــار ، فعندئذ يندفع الماء إلى أعلى حتى يصل إلى المستوى الذى يتوازن فيه مع منسوب المنفذ ة المائية في منطقة التغذية حيث يكون هذا المنسوب في أعلى وضع لـــــه . وقد يصل الماء المندفع إلى سطح الأرض حيث ينساب تلقائيا أو يرتفع بشكل نافـــورة للوصول إلى المستوى المعادل لمنسوب أعلى نقطة في المنفذة . ويطلق على هـــذا المنسوب علميا تعبير " المستوى البيزومترى " Piezometric level " إلا أن المياه المرتفعة لاتستطيع الوصول عادة إلى هذا المستوى تماما لسببين هما :

(١) بطء حركة الماء في فراغات ومسام اغلب الصخور ، (٢) طول الرحلة التى لابـــد ان يقطعها الماء خلال الصخور من منطقة التغذية الى مكان البئر . وقد يبلـــــغ طول هذه الرحلة احيانا بضعة آلاف من الكيلومترات .

والشكل الغالب في التراكيب الارتوازية هو التركيب الحوضى ، الـــذى تمتد الطبقة الحاملة للماء فيه بشكل حوض منخفض يتغذى من مناطق مرتفعة واقعـــة على جانب او اكثر من جوانبه (شكل ١٢٢) .

والى جانب هذا التركيب تظهر التراكيب الارتوازية بأشكال اخرى في مناطق ذات اشكال تضاريسية وتراكيب جيولوجية خاصة (شكل ١٢٣) ومن اهمها : (١) مناطق الكثبان الرملية الثابتة حيث توجد المياه الارتوازية احيانا في المنخفضـــات المحصورة بين الكثبان . (٢) المناطق التى توجد بها صدوع طولية ، وخصوصـــا في تكوينات الصخور النارية (٣) المنخفضات الصحراوية الواقعة قرب مناطـــق مرتفعة تتغذى منها الطبقات المائية الممتدة تحت هذه المنخفضات . وكثيـــرا ما تتمكن عوامل التعرية من تعميق هذه المنخفضات حتى تكشف المنفذة المائيــة ، فتظهر بشكل بحيرة يتوقف دوامها على بقاء منسوب الطبقة المائية فوق سطح الارض .



شكل (١٢٢) التركيب الارتوازى الشائع







شكل (١٢٣) تراكيب ارتوازية ... (١) فى منطقة كثبان رملية (٢) ... طقة صحراوية ... منخفضات ، (٣) فى منطقة نارية
بها ... طاولى

العيــون Springs:

المقصود بالعيون هو الفتحات التي يخرج منها الماء الجوفي تلقائيا إلى سطح السطح . وهي تظهر عادة في المواضع التي تتقابل عندها المنسوبة المائية مع سطح الارض وكذلك في التراكيب الارتوازية اذا وجد الماء المحصور منفذا له الى السطح . وتظهر العيون بأشكال متعددة جدا بحيث يصعب وضع تصنيف دقيق لها ، ومع ذلك يمكننا أن نقتبس هنا التصنيف الذي وضعه لها بريان K. Bryan في ١٩١٩(١). حيث قسمها الى نوعين رئيسين :

١ ـ نوع يظهر نتيجة لتأثير قوة الجاذبيه على المياه الجوفيه .

٢ ـ نوع مرتبط بالنشاط البركاني أو بالصدوع المتعمقة في القشرة . وتكون مياه هذا النوع غالبا حــارة .

والنوع الأول من العيون هو النوع الرئيسي الذي ينتشر في مختلف جهات العالم على نطاق واسع . ويمكن أن تدخل فيه العيون الارتوازية ، فعلى الرغم من أن مياهها تبدو مندفعة ضد الجاذبية الا أن العامل الاساسي في ظهورها هو انحدار المياه بفعل الجاذبية من منطقة التغذية المرتفعة إلى الطبقة الحاملة للماء ثم انحدارها إلى الحوض الذي تنبثق فيه العيون .

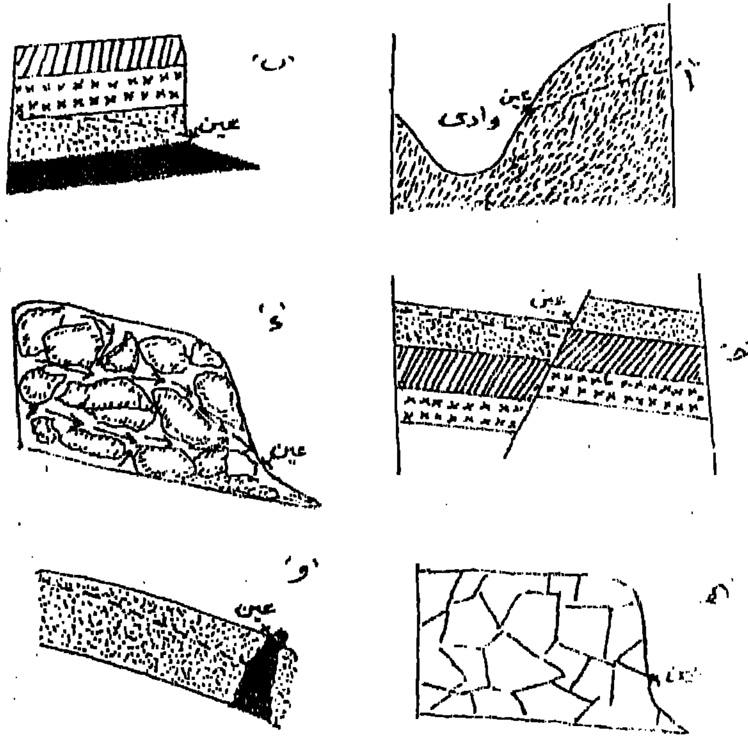
ويرتبط ظهور عيون الجاذبية بأشكال تضاريسية وجيولوجية متنوعة ، ولكنها تشترك في أن ماءها يخرج إلى السطح في كل الحالات بتأثير قوة الجاذبية مما يؤدى الى ظهور العيون في أكثر اجزاء المنسوبة المائية انخفاضا ، كما يتبين من الامثلة الاتيــة (شكل ١٢٤) :

أ ـ على جوانب الوديان أو المنخفضات .

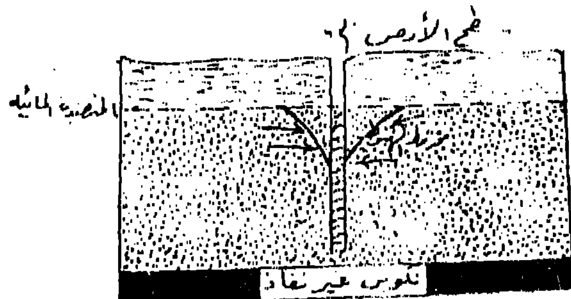
ب ـ عند قاعدة الحافات الصخرية الطباشيرية .

جـ ـ على امتداد سطح أحد الصدوع اذا ادى الى حلول طبقة غير نفاذة محل امتداد الطبقة النفاذة على احد جانبيه ، بشكل يؤدى الى وقف الحركة الافقية للماء .

(1) Bryan, K., Classification of Springs, Jour. of Geology, Vol. 27, 1919, pp. 522-561.



شكل (١٢٤) امثلة لعيون الجاذبية ، (أ) على جانب احد الوديان ،
(ب) عند قاعدة احدى الحافات ، (جـ) فى اعلى صدع من الصدوع
(د) فى منطقة كارستية (هـ) فى منطقة كثيرة الشقوق والمفاصـل .
(و) فى جانب احد السدود النارية ٠



شكل (١٢٥) مخروط الهبوط الذى يتكون عند سحب الماء بسرعة من احد

د ـ حيثما تكثر الكهوف والمجارى السفلية وغيرها من المظاهر التى تنتج عن الذوبان في مناطق الصخور الجيرية ويتصل بعضها ببعض .

هـ ـ حيثما تكثر الشقوق والفواصل ويتصل بعضها ببعض في مناطق الصخور النارية والمتحولة .

و ـ حيث تقف كتلة نارية مندفعة في طريق الطبقة الحاملة للماء .

والمعروف أن الماء يتدفق من بعض العيون بدون انقطاع بينما يكون خروجه متقطعا أو مقصورا على فصل معين من عيون اخرى [1] ومن الواضح أن تصريف أى عين من العيون يرتبط ارتباطا مباشرا بالتكوين الذى يغذيها وبالمصدر الذى يغذى هذا التكوين . فالعيون التى تنبثق من تكوينات تستمد مياهها من مصادر دائمة مضمونة مثل احدى المناطق غزيرة المطر أو احد الانهار القريبة يكون تصريفها دائما . بينما يكون تصريف العيون المنبثقة من تراكمات حصوية صغيرة متقطعا . حتى انه لايحدث الا بعد سقوط المطر . ولايستمر الا لفترات محدودة .

<u>ميزانية استخراج الماء من الآبـار :</u>

في حالة استخراج الماء من الآبار فان الامر يتطلب معرفة ظروف الطبقة الحاملة له . من حيث سمكها وطاقتها وامكانات إعادة تغذيتها لتقدير المعدلات التى يمكن أن تسحب منها وعدد الآبار التى يمكن أن تحفر فيها . فالطبقات الجوفية السطحية في قيعان الوديان والسهول الفيضية والمناطق الساحلية تكون عادة رقيقة وتكون احتمالات إعادة تغذيتها في فصل الجفاف ضعيفة أو معدومة . كما أن تسرب الماء نحو الآبار قد لايكون قادرا على تعويض مايسحب منها إذا زاد معدل السحب عن حد معين . أو استخدمت في عمليات السحب مضخات قوية . وفي المناطق الساحلية بالذات تكون طبقة المياة الحلوة مرتكزة غالبا على طبقة من مياه البحر المالحة . ولهذا فإن زيادة سرعة السحب عن حد معين يترتب عليها ارتفاع المياه المالحة لتحل محل المياه الحلوة في الابار . ويكون من الصعب إعادة الوضع إلى

---

(1) Linsley,R.K. & Kohler, M.A. " Applied Hydrology", New York, 1949.

ما كان عليه ، الا بعد أن يتوقف السحب لفترة طويلة ، وقد يحتاج الأمر الى تغذية الآبار بالمياه العذبة من ناحية للمساعدة على دفع المياه المالحة واعادة الوضع الى ما كان عليه . ويختلف الحال عن ذلك بعض الشيء بالنسبة لاستغلال مياه الخزانات الجوفية التي تستمد ماءها من مناطق تغذية معمونة . وقد لوحظ أنه عند سحب الماء من أحد الآبار المحفورة في احدى هذه الطبقات أن هذا السحب يؤدى الى هبوط منسوب الماء في البئر وحوله مباشرة . ويتكون نتيجة لذلك مخروط أو قمع يطلق عليه اسم مخروط (أو قمع) الهبوط المائي Funnel أو Cone of Depression

Depression. وكلما اشتد انحدار جوانب هذا المخروط زادت سرعة انسياب الماء الى البئر من الجوانب فيزداد بالتالي تصريفه (شكل ١٢٥) . ويعني هذا أن الحصول على أكبر تصريف للبئر في مثل هذه الحالة يتطلب الاسراع بسحب الماء منه في بداية الامر حتى يتكون له مخروط مائي معقول . الا أن هذه السرعة يجب ألا تستمر لمدة طويلة خصوصا اذا تم السحب من عدة آبار في وقت واحد . لأن مثل هذا السحب قد يؤدى الى هبوط منسوب كل المنضدة المائية فيقل تصريفها .

ومن الممكن تقدير كمية المياه التي تتجدد سنويا في التراكيب الارتوازية عن طريق المراقبة المستمرة للكميات التي تسحب منها وما يطرأ على منسوب منضدتها المائية من تغيير من وقت الى آخر . ومن هذه المراقبة يمكن حساب معدلات اعادة تغذيتها . فإذا بقى سطح المنضدة ثابتا لسنوات عديدة فإن هذا يدل على أن الكميات المستخرجة منها تتعادل مع الكميات التي تضاف إليها باعادة التغذية . أما إن طرأ عليها هبوط مستمر فمعنى هذا أن إعادة التغذية لاتكفي لتعويض المياه المستخرجة ، وفي هذا مجاوزة على طاقة الخزان المائي . لأن إعادة رفع المنضدة المائية الى مستواها الأول قد تستغرق مدة طويلة بسبب بطء حركة المياه المتسربة إليه . وتبرز هذه المشكلة بصفة خاصة في المناطق التي تتغذى طبقاتها المائية من مناطق مطرها قليل أو غير منتظم . ولهذا يصبح من الضروري في بعض الأحيان إعادة تغذية الطبقة الحاملة للماء صناعيا عن طريق حفر آبار أو ثقوب تصرف بواسطتها المياه الفائضة إلى هذه الطبقة . وتعرف هذه الآبار باسم آبار التغذية ، إلا أن هذه الطريقة تؤدى غالبا إلى زيادة الملوثات المياه الجوفية .

ولابد من التنبيه الى أن التوسع الحضرى فى مناطق التغذية له بعض الاثـار السلبية على إعادة تغذية المياه الجوفية ، سواء من حيث كميتها أو درجة نقاوتهـا ، لأن مساحات كبيرة من هذه المناطق تغطى بأسطح غير نفاذة من أهمها سطـوح المبانى والشوارع والطرق والملاعب والميادين ، فمما لاشك فيه أن هذه التغيـرات قد قللت من امكانيات تغذية المياه الجوفية ، وحتى مع التسليم بأن كثيرا من مياه المدن توجه إلى البالوعات والمجارى فان هذه المياه تكون شديدة التلوث ، ولئن تتسـرب بعضها الى طبقات المياه الجوفية فانه يؤدى الى تلوثهـا .

وربما يمكن معالجة هذه الاثار السلبية باعادة توجيه المياه السطحية فى منطقة التغذية الى احواض خاصة تسمح أراضيها بتسربها نحو الطبقة الجوفية او بالإكثار من حفر آبار خاصة لإعادة التغذية فى الأماكن الملائمـة .

نوعية المياه الجوفيـة :

المقصود بنوعية المياه هو حالتها من حيث الطعم واللون ودرجة الحـرارة ودرجة الحموضة والمحتوى البيولوجى والكيمائى ، وكلها امور لابد من بحثها لمعرفة مدى صلاحية الماء للشرب أو للرى أو الصناعة أو الاغراض المنزلية ، والمعروف عمومـا أن نسبة الملوحة والمواد المعدنية تكون اعلى فى المياه الجوفية منها فى الميـاه السطحية ، ومع ذلك فان المياه الجوفية تتباين فيما بينها تباينا كبيرا حتى فـى الاماكن المتقاربة فى بعض الاحيان ، بسبب التباين فى التراكيب الصخرية التى توجـد فيها أو تمر بها ، أو بسبب تباين أعمارها أو الأعماق التى توجد فيها . والمعتاد أن تكون المواد الملحية والمعدنية الذائبة فى مياه الصخور الرملية الكوارتزية أقل منها فى مياه التكوينات الجيرية ، لأن الكوارتز معدن ثابت لايتحلل بالذوبان أو بأى عامـل آخر من عوامل التجوية بينما يذوب الجير فى الماء المحمل ببعض ثانى اوكسيد الكربون .

وكلما كانت حركة المياه بطيئة زادت نسبة ماتحتويه من مواد ملحية ومعدنيـة ذائبة . وكلما زاد عمق التكوينات الحاملة للماء فى القشرة زادت نسبة المواد الذائبـة بها ، فإذا زاد العمق عن ١٥٠٠ متر لايكون هناك احتمال كبير لوجود مياه عذبـة

بالمنطقة ال... او الهوية لأن المياه التي قد توجد على هذه الاعماق تكون عادة شديدة الملوحة لدرجة أن معدل ملوحتها يكون أضعاف المعدل المعروف لمياه البحار والمحيطات ، وهو ٣٥ جزءًا من الألف .

وتتزايد الملوحة كذلك كلما طالت رحلة المياه خلال الصخور من مناطق التغذية إلى مناطق الاستهلاك ، وتكون الملوحة غالبا أعلى في الأقاليم الجافة منها في الأقاليم الرطبة ، لأن نشاط عملية تبخر مياه التربة وطبقة المياه السطحية في الأقاليم الجافة يؤدي إلى تركيز الملوحة في التربة وعلى سطحها نتيجة لارتفاع المياه بقوة الخاصية الشعرية ثم تبخرها على السطح . ولهذا فإن ماء المطر يحمل معه عند تسربه في القشرة بعض الأملاح التي تختلط بالمياه الجوفية ، ومع ذلك فقد توجد المياه الحلوة في بعض المواضع المتفرقة تحت الوديان والمنخفضات التي تتجمع فيها مياه الأمطار ، حيث يتسرب بعض هذه المياه في القاع قبل أن يتحمل بالأملاح ، وتتكون منها عدسات كبيرة من المياه الحلوة التي تتميز بعذوبتها ، وهي ظاهرة مألوفة في الأقاليم الجافة حيث تظهر تحت قاع بعض الوديان وبعض المنخفضات التي تتجمع فيها المياه المنحدرة على السطح .

وفيما يختص بدرجة الحرارة ، فإن المياه الجوفية تختلف عن المياه السطحية في أن درجة حرارتها لا تتغير من يوم إلى آخر أو من شهر إلى آخر وكلما زاد بعد الطبقة الحاملة للماء عن السطح كانت درجة حرارة مياهها ثابتة . ولكنها قد تختلف من مكان إلى آخر على حسب درجة حرارة التكوينات التي تحتويها ، والظروف المحلية لمناطق وجودها ، فقد يكون بعضها شديد البرودة لدرجة التجمد ، كما هي الحال بالنسبة للمياه الجوفية الموجودة في مناطق التربة المتجمدة في الأقاليم الباردة ، كما يكون بعضها حارا إلى درجة الغليان تقريبا ، كما تدل على ذلك مياه العيون الحارة المعروفة . وليس هناك سبب واحد متفق عليه لحرارة المياه الجوفية إلا أن الأسباب المحتملة لها هي ١ - التزايد المعتاد للحرارة كلما ازداد العمق . ٢ - ملامسة المياه لمادة جوفية شديدة الحرارة من نوع الماجما ، وهذان السببان هما أكثر الأسباب قبولا ، وإلى جانبهما توجد أسباب أخرى محتملة ولكن ليس هناك اتفاق عليها ، من أمثلتها التسخين الذي ينتج عن عمليات التصدع ، أو الذي يحدث نتيجة لبعض التفاعلات الكيماوية أو الذي تحدثه بعض العناصر المشعة .

وقد دلت بعض الملاحظات في الولايات المتحدة على أن درجة حرارة المياه الجوفية في الأعماق التي تتراوح بين ١٠ و ٣٠ مترا تكون أعلى بنحو درجة أو درجتين مئويتين عن المعدل السنوى لدرجة حرارة الهواء في منطقتها وأنها تكون نتيجة لذلك أدفأ نوعا ما من هذا الهواء في الشتاء وأبرد نوعا ما في الصيف (١).

انصراف المياه الجوفية إلى البحار والمحيطات :

قد يبدو أن المياه الجوفية ، وخصوصا المياه المحصورة ، ضعيفة الصلة بالجو مما يوحى بعدم مساهمتها مساهمة كبيرة في الدورة المائية العامة Hydrological Cycle ، ولكن الواقع أننا لو نظرنا إلى المياه الجوفية عموما نجد أنها ترتبط ارتباطا قويا بهذه الدورة وتساهم فيها بنصيب كبير جدا ، وذلك لأن أغلبها يتحرك باستمرار نحو البحار والمحيطات ، سواء من خلال التكوينات الصخرية أو عن طريق الانهار ، أو بالانحدار المباشر بعد انبثاقها الى السطح ، وذلك بالاضافة الى مايصل منها الى السطح سواء بالرشح أو عن طريق العيون والابار ، ثم ينطلق بعد ذلك الى الجو بالتبخر .

وتمثل الانهار الطرق الرئيسية لانصراف المياه الجوفية إلى البحار والمحيطات في معظم جهات العالم . فقد دلت القياسات المائية لكثير من الأنهار على أن نسبة كبيرة من تصريفها مصدرها المياه الجوفية التي تصل إليها بالرشح أو عن طريق العيون التي تنبثق في قيعانها ، أو من جوانبها ، أو نتيجة لتقاطع قيعانها في بعض المواضع مع المنسوب ة المائية . ويطلق على المياه الجوفية التي تصل الى الأنهار بهذه الطرق تعبير " انسياب القاعدة " (او جريان القاعدة) Base Flow " ويعتبر هذا الجريان عاملا رئيسيا في تنظيم جريان كثير من الأنهار ، لأنه يساعد على استمراره حتى في موسم انقطاع المطر ، ولهذا فإن بعض الكتاب يطلقون عليه تعبير " جريان الجو الجاف Dry weather Flow (٢) . وقد يكون مصدر مياه هذا الجريان قريبا من النهر .

---

(١) [illegible] 1959.

(٢) Ware [illegible]

أو بعيدا عنه على حسب بعد المنطقة التى تتغذى منها الطبقة الحاملة للمـــاء ، ولهذا فإن وصولها إلى النهر قد يستغرق فى بعض المناطق بضعة أيام بينما يستغرق فى بعضها الآخر عدة أسابيع أو أشهر ، بل وربما عدة سنوات ، ولكن بمجرد وصولهـــا إلى النهر فإن انسيابها يظل مستمرا بانتظام طالما بقى الخزان المائى الذى تأتـــى منه محافظا على منسوبه .

فمن الدراسات الهيدرولوجية التى أجريت على نهر مسورى مثلا ، عند مدينـــة أوماها فى نبراسكا من اكتوبر ١٩٤٠ الى سبتمبر ١٩٤٢ ، تبين أن هذا النهر ، وهـو اكبر روافد نهر المسيسبى ، يعتمد فى جريانه الشتوى بصفة اساسية على انسياب القاعدة ، وذلك بسبب قلة الامطار وتجمد التربة . ويكون هذا الانسياب محدودا فى أول الأمـر ، ولكنه يتزايد بسرعة حتى يصل فى أوائل الصيف الى ٥٧٠ مترا مكعبا فى الثانية نتيجـــة لإعادة تغذية الطبقة الحاملة للماء بالمياه الناتجة من انصهار الثلوج أو سقوط الامطار (١) .

كما تبين من الدراسات التى اجريت على بحر قزوين أن الكمية الكلية للمياه التـى تصله من اليابس المحيط به تبلغ ٣٠٠ كم٣ سنويا ، وأن المياه الجوفية التى تصله عـــن طريق الانهار تمثل وحدها ٤٠٪ من هذه الكمية ، اى ١٢٠ كم٣ وأن ٢٪ اخـــرى مصدرها المياه الجوفية التى تنحدر اليه مباشرة من الجبال المشرفة عليه (٢) .

وقد سجلت ملاحظات مشابهة لذلك تقريبا على المياه التى تنحدر عبر الاراضـى الهولندية نحو بحر الشمال ، حيث تبين أن معظم هذه المياه تصل الى البحر عـــن طريق الانهار وخصوصا نهر الرين . وتبدو أهمية المياه الجوفية فى جريان الانهـــار كبيرة بصورة أوضح فى الأقاليم الجافة ، حتى أن كثيرا من المجارى النهرية تعتمد عليهـا اعتمادا كليا تقريبا . ومثال ذلك بعض الأنهار التى توجد حول مرتفعات أواسط آسيـا ، حيث تتسرب مياه الأمطار والثلوج المنصهرة فى التكوينات الرسوبية السميكة المتراكمة عنـد سفوح المرتفعات لتعود فتنبثق منها بشكل أنهار منتظمة الجريان ، وتشتهر هـــذه

---

(1) Strahler, A. ." [illegible]ysical Geography, " .Y., 1975.
4 th ed., [illegible] 14-236.

(2) Lvovich, M., op.cit.

الانهار فى اسيا باسم [illegible] الى الماء الاسود [illegible] ومثل هذا [illegible]
يقال عن بعض الانهار التى تستمد ماءها من المياه المتجمعة فى كهوف وسراديب [illegible]
التكوينات الكارستيـــة .

أما المياه الجوفية التى تنصرف إلى البحار بالانحدار المباشر ، فعلى الرغـــم
من كبر كمياتها فانها اقل بكثير من كميات المياه التى تصل إليها بواسطة الانهـــار .
ومن اوضح الامثلة للانحدار المباشر مياه العيون الكثيرة التى تنحدر على الجوانـــب
الغربية لجبال روكى وجبال الانديز نحو المحيط الهادى ، ومياه العيون التى تنحدر
نحو البحر الأسود من جبال القوقاز ، والتى تنحدر على المنحدرات الساحلية لجبال
الالب الدينارية فى يوغوسلافيا نحو البحر الادرياتى (٢) .

أما انصراف المياه الجوفية إلى البحر تحت سطح القشرة فيتوقف على عوامـــل
كثيرة أهمها ، كمية المياه نفسها ، فإن كانت كبيرة فقد [illegible] نحو البحر بكميـــات
كبيرة ، وقد تنبثق بشكل عيون تحت مياهه الساحلية ، أما إن كانت قليلة فقـــد
لايصل منها شىء إلى البحر ، وخصوصا إذا تعرضت للاستهلاك حيث أنها سرعان ما
تستنفد وتحل محلها مياه البحر المالحة التى تتسرب نحو اليابس . وتعالج هـــذه
الحالة أحيانا بدفع المياه العذبة فى الآبار من أعلى ، تدفع المياه المالحـــة
وتفسح المجال لعودة تسرب الماء العذب .

---

(١) [illegible]
(٢) [illegible]

المياه الجوفية في المناطق الكارستية

المقصود بالمناطق الكارستية هي المناطق التي تتكون من صخور جيرية قابلة للذوبان في الماء المحمل ببعض ثاني أوكسيد الكربون ، والتي تكثر بها الظاهرات السطحية والجوفية التي تنتج من تضافر عمليات التجوية الكيمائية الناتجة عن الذوبان وعمليات النحت الناتجة عن جريان المياه على السطح وفي فراغات الصخور ، ويطلق على هذه الظاهرات تعبير الظاهرات الكارستية نسبة الى منطقة " كارست Carst " في غرب يوجوسلافيا ، وهي أول منطقة درست فيها هذه الظاهرات ، وتوجد غيرها مناطق كارستية كثيرة منتشرة في مناطق الصخور الجيرية في العالم .

ولا توجد الظاهرات الكارستية في كل مناطق الصخور الجيرية لأن تكوينها يتوقف على نوعية هذه الصخور ومدى قابليتها للذوبان ، وعلى كثرة الأمطار الساقطة . فمن الصخور الجيرية ما يذوب بسهولة في الماء الحامل لثاني أوكسيد الكربون مثل الطباشير ومنها ما هو شديد الصلابة ولا يسهل ذوبانه مثل الدولوميت ، والنوع الأول هو النوع الملائم لتكوين هذه الظاهرات ، أما النوع الثاني فغير ملائم لها . ومن الواضح أن كثرة الأمطار تلعب دورا رئيسيا في تكوينها لأن ماء المطر هو المسئول عن عملية الإذابة وعن عمليات النحت المائي ، ولهذا فان هذه الظاهرات لا توجد في المناطق الجافة إلا في حالة ما اذا كانت هذه المناطق قد مرت بها فترات مطيرة في عصور سابقة .

ويساعد على تجمع المياه الجوفية في فراغات الصخور الجيرية أن تكون هذه الصخور مرتكزة على تكوينات غير نفاذة حتى لا تتسرب مياهها إلى تكوينات اخرى أعمق منها .

أهم الظاهرات الكارستية :

يمكن تقسيم هذه الظاهرات إلى قسمين أحدهما يوجد على السطح ، بينما يوجد الثاني على أعماق مختلفة في داخل الصخر ، مع ملاحظة أن الظاهر السطحية والظاهر الجوفية تكون غالبا متصلة ببعضها .

بالنظر الى سطح المناطق الكارستية يلاحظ أنه ممزق بواسطة " البالوعات " العميقة والحفر الاخرى المتنوعة والشقوق والفوالق . وتوجد بينها جميعا النتوءات وبروزات كثيرة ناتئة لها حافات حادة فى بعض الأحيان .

" والبالوعات " Sink holes هى أهم الظاهرات الكارستية التى توجد على السطح والتى تتعمق فى نفس الوقت فى جوف الصخور . وهى عبارة عن منخفضات حوضية متعمقة فى الصخور بواسطة قنوات رأسية تقريبا ، بحيث تكون البالوعة أشبه بالقمع الضخم وقد تصل قنواتها الرأسية إلى أعماق تزيد على العشرات من الأمتار حتى تتصل بالأنهار السفلية والكهوف ، أما فتحاتها السطحية فيختلف اتساعها من بضعة أمتار إلى بضع مئات من الأمتار المربعة . وفى المناطق الكارستية الناضجة يكون السطح غالبا مقطعا بعدد كبير من البالوعات المتباينة الاحجام ، حتى أن عددها قد يصل إلى عدة مئات فى الكيلومتر المربع . وكثيرا مايؤدى استمرار عمليات التجوية والنحت إلى اتصال بعض البالوعات المتجاورة ببعضها فتتكون منها أحواض ضخمة .

والعامل الرئيسى الذى يؤدى إلى تكون معظم البالوعات هو عامل التجوية الكيمائية الناتجة عن ذوبان الصخور الجيرية فى الماء ، إلا أن بعضها قد يتكون كذلك نتيجة لانهيار الصخور التى ترتكز على الكهوف الداخلية ، ويطلق على البالوعات التى تتكون نتيجة للتجوية الكيمائية وحدها اسم " الدولينات " Dolines أما البالوعات التى تلعب الانهيارات دورا رئيسيا فى تكوينها فيطلق عليها اسم بالوعات الانهيار . والبالوعات هى الطرق الرئيسية التى تسلكها المياه السطحية الى جوف الصخور . وتظهر على السطح كذلك بعض الوديان التى قد يمتلئ بعضها بالماء عقب سقوط أمطار غزيرة . ويحدث هذا بصفة خاصة اذا كانت القاعدة غير النفاذة التى ترتكز عليها الصخور الجيرية قريبة من السطح . ولكن هذه الوديان لاتلبث أن تجف نتيجة لانصراف مياهها عن طريق البالوعات والشقوق إلى الكهوف والانهار السفلية . ويطلق على الوديان السطحية التى تتلاشى .

بالماء بعد سقوط المطر ثم تجف نتيجة لانصراف مائها إلى الباطن اسم الأودية العمياء . وباستثناء الجريان المؤقت للماء فى هذه الأودية فإن المناطق الكارستية تكون غالبا خالية من الانهار السطحية لأن تصريف مياهها يحدث عادة فى جوف الصخور .

اما الظاهرات الكارستية الجوفية فكثيرة ومتباينة الاشكال والاحجام ، وأهمها الشقوق والمفاصل والكهوف والانهار السفلية . وتعتبر الكهوف والانهار السفلية أهم هذه الظاهرات واكبرها .

وتتكون الكهوف غالبا فى مناطق الضعف فى داخل الصخر وخصوصا فى اماكن التقاء الشقوق والمفاصل وتؤدى عمليات الذوبان وعمليات النحت المائى المستمرة الى توسيعها . وتنتقل المياه بينها عن طريق الشقوق والمفاصل فتتكون منها أنهار سفلية تتبع مناطق الضعف وتنحدر مع انحدار التكوين الجيرى الحامل للماء إلى ان تجد لنفسها منفذا إلى الخارج فى جانب أحد الوديان او السهول ، وهنا تنبثق بشكل عيون تندفع مياهها أحيانا بصورة دائمة . وقد يكون اندفاعها بقوة تعادل قوة اندفاع مياه الشلالات . وكثيرا ماتكون هذه العيون هى الموارد المائية الرئيسية سواء للزراعة او للمراكز العمرانية .

وقد يحدث أثناء تسرب المياه السطحية الى الكهوف ان تتعلق بعض نقط الماء المحملة بالجير بأسقف هذه الكهوف ، كما يسقط بعضها الآخر فوق قاعها ، ويؤدى تبخر هذه النقط إلى ترسب الجير فى اماكنها . وبتكرار هذه العملية تتكون الاعمدة الهابطة Stalactites والاعمدة الصاعدة Stalagmites التى سبق ان تكلمنا عليها عند كلامنا على الصخور الجيرية (الفصل السادس صفحات ١١٠-١١١) .

الدورة الجيومورفولوجية للمناطق الكارستية :

تتبع الدورة الجيومورفولوجية للمناطق الكارستية نظاما خاصا تلعب فيه مياه الامطار والتجوية الكيمائية المتمثلة في ذوبان الصخور الجيرية الأدوار الرئيسية في تشكيل هذه المناطق .

فعلى فرض ان المنطقة بدأت تتعرض بعد ظهورها مباشرة لهذه العوامل فإن المرحلة الأولى لدورتها الجيومورفولوجية تبدأ بجريان الماء على سطحها حيث تتكون مجار نهرية متباينة الأحجام ، وفي نفس الوقت يأخذ بعض الماء في التسرب في شقوق الصخور وفواصلها فيؤدي الى توسيعها والى تكوين البالوعات في المواضع التي تتلاقى فيها الشقوق ببعضها ، وبمرور الوقت يتزايد عدد البالوعات وتكبر أحجامها ويتزايد اندفاع المياه فيها الى جوف الصخر، وتصبح هذه الظاهرة السائدة على السطح ، كما تكون الأنهار السطحية قد عمقت مجاريها في الطبقة الصخرية السطحية ، التي تكون غالبا مكونة من صخور صلبة ، حتى تصل إلى طبقة الصخور الجيرية اللينة ، فتأخذ مياهها في الانصراف إلى الكهوف والانهار السفلية فيؤدي ذلك إلى اختفائها تدريجيا ، وعندئذ تكون المرحلة الاولى للدورة الجيومورفولوجية قد وصلت الى نهايتها .

وفي المرحلة الثانية وهي مرحلة الشباب تكون البالوعات قد وصلت إلى حالة متقدمة في تطورها ، وتكون كثير من الأنهار السطحية قد اختفت بينما تكون الكهوف والأنهار السفلية قد بدأت تتطور وتكبر أحجامها وأعدادها وتكون الشبكة المائية الجوفية قد بدأت تأخذ شكلا متكاملا .

وفي المرحلة الثالثة وهي مرحلة النضج تختفي كل الانهار السطحية تقريبا ويقتصر وجودها على أنهار صغيرة فصلية تمتلئ بالماء في موسم المطر ولكنها لاتلبث أن تجف بسبب انصراف مياهها إلى الكهوف والأنهار السفلية عن طريق البالوعات ، اما الشبكة المائية السفلية فتزداد تعقيدا بزيادة أحجام الانهار السفلية وروافدها

وتفرعاتها وزيادة احجام الكهوف وامتداداتها الأفقية والرأسية ، وتتكون فيها الأعمدة الجيرية الهابطة (الاستالاكتيت) والصاعدة (الاستالاجميت) وفى أواخر هذه المرحلة تحدث بعض الانهيارات التى تؤدى إلى كشف بعض الكهوف وبعض قطاعات الأنهار السفلية .

وفى المرحلة الرابعة والأخيرة وهى مرحلة الشيخوخة ، تكون الانهيارات الصخرية قد أدت الى كشف اغلب الكهوف وتحويلها إلى بحيرات غائرة والى كشف أغلب الانهار السفلية وظهورها كأنهار سطحية ذات جوانب شديدة الانحدار ، وتظهر على السطح بعض التلال الصخرية المنعزلة المتخلفة من الأراضى المرتفعة التى كانت تفصل بين البالوعات والأحواض السطحية .

ومما يجدر ذكره فى النهاية أن المراحل الأربعة التى ذكرناها تتداخل فى بعضها بحيث يصعب وضع حدود واضحة بين بعضها وبعض ، وقد تختلط مظاهرها ببعضها بحيث توجد فى المنطقة الواحدة ظاهرات تنتمى إلى أكثر من مرحلة من هذه المراحل .

الباب السادس

الأشكال التضاريسية الكبرى لسطح اليابس

الفصل العشرون - السهول .

الفصل الواحد والعشرون - الهضاب والجبال .

الفصل الثاني والعشرون - البحيرات والمستنقعات .

الفصل العشرون

السهول PLAINS

تعريفها وصفاتها العامة

المقصود بالسهول ، بمعناها العام ، هو الأراضي التي لا توجد بها أراضي شديدة الانحدار أو مرتفعات كبيرة أو كثيرة بدرجة تغير من مظهرها السهلي العام . وإذا وجدت بها أي مرتفعات فيجب أن تكون قليلة ، وألا تزيد ارتفاعاتها عن عشرات الأمتار . ومعنى ذلك أنه لا يشترط أن يكون السهل تام الاستواء ، ولكن يشترط أن تكون كل منحدراته معتدلة .

وتختلف السهول عن الهضاب Plateaus أو Tablelands في عدة نواح أهمها : أن الهضاب تكون أكثر ارتفاعا وتكون حافاتها محددة تحديدا واضحا بواسطة منحدرات شديدة أو قائمة ، كما يكون سطحها مقطعا بواسطة وديان وأخاديد شديدة العمق ، وقائمة الجوانب كما سنوضح عند الكلام عليها في الفصل القادم .

وعلى الرغم من أن السهول تشترك في صفاتها العامة وخصوصا ما يتعلق منها بعدم وجود منحدرات شديدة أو جبال عالية ، فإنها تتباين فيما بينها في كثير من الصفات ، فمن حيث ارتفاعها العام عن سطح البحر نجد أن بعضها يكاد يكون في مستوى سطح البحر بينما قد يصل ارتفاع بعضها إلى بضعة آلاف من الأمتار ، كما هي الحال في السهول المحصورة بين سلاسل الجبال

الكبرى ، والتى تتوفر فيها شرط عدم وجود المنحدرات الشديدة أو المرتفعات الكبيرة . ومن حيث درجة الاستواء فإن بعض السهول يكاد يكون تام الاستواء بينما يكون بعضها الآخر كثير المنخفضات والتلال والوديان ، كما هى الحال بالنسبة لما يعرف باسم « أشباه السهول Peneplains» . وبينما يكون السطح فى بعض السهول قاحلا جافا فإنه يكون فى بعضها الآخر كثير المستنقعات والبحيرات ، وبينما يكون السطح فى بعض السهول مغطى بمواد رسوبية مفككة ، سواء أكانت ناعمة مثل الصلصال أو الطين أو الملح ، أو خشنة مثل الرمال الخشنة والحصى وقطع الصخور المهشمة فإن بعضها الآخر يكون صخريا عاريا أو مغطى بكساء جليدى دائم .

وبغض النظر عن السهول التى لا تساعد ظروفها المناخية أو مواردها المائية أو تكويناتها السطحية على استغلال أرضها للانتاج الزراعى فان السهول هى ، على وجه العموم ، أصلح المناطق لهذا النوع من الاستخدام ، بشرط أن تكون متطلباته الأخرى متوفرة بها . كما أن السهول هى أصلح المناطق للنمو الحضرى والتجمع السكانى .

وبالنظر إلى خريطة تضاريسية للعالم نجد أن أغلب السهول العظمى مفتوحة إما على المحيط الأطلسى أو على المحيط المتجمد الشمالى ، أما السهول المفتوحة على المحيطين الهندى والهادى فمعظمها عبارة عن سهول صغيرة نسبيا ، ومن أمثلتها السهول الصغيرة المفتوحة على المحيط الهادى والمحيط الهندى فى جنوب آسيا وشرقها ، وفى استراليا وشرق إفريقيا وغرب الأمريكتين . والسبب فى ذلك هو أن سواحل المحيط الهادى تكتنفها نطاقات جبلية تكاد تكون متصلة ، ولا تفصل بينها وبين مياهه إلا سهولا ساحلية صغيرة متفرقة .

نشأتها وأنواعها :

تنشأ السهول بفعل عوامل متعددة ومتباينة ، فبينما يتكون بعضها نتيجة لعمليات النحت فإن بعضها الآخر يتكون نتيجة لعمليات الارسـاب . وقد تتدخل حركات القشرة الأرضية كـذلك في تكوين بعض السهول أو تطورها . ولذلك فان هنـاك أنواعا متعددة من السهول ، ومن أهمها مـا يأتي :ـ

أولا : السهول الناشئة عن النحت وتشمل : ١) السهول التحاتية الكبيرة التي تمثل المرحلة الأخيرة من مراحل النحت المائي في المناطق الجبلية ، وهي تشمل أشباه السهول Peneplains ، ٢) سهول أقدام الجبال Pediplains وهي السهول الصخرية التي تتكون عند سفوح الجبال بواسطة النحت الذي تقوم به مياه الوديان المنحدرة على جوانبها ، وهي تمثل مرحلة من مراحل تكون أشباه السهول ، ٣) سهول النحت البحري، وهي السهول التي تتكون على السواحل نتيجة النحت الذي تقوم به الأمواج ، ٤) سهول الكويستا Cuesta التي تتكون نتيجة للنحت في منطقة طبقاتها مائلة شديدة الصلابة في أجزائها العليا . ٥) سهول النحت الجليدي التي تتكون في المناطق التي زحف الجليد عليها في عصور سابقة . ٦) سهول الكارست Carst التي تتكون في مناطق التكوينات الجيرية نتيجة لعمليات التجوية التي تقوم بها المياه الجوفية ، وهذا هو العامل الرئيسي في تكوينها ، بالاضافة إلى عوامل أخرى أهمها التعرية المائية .

ثانيا ـ السهول الناشئة عن الارساب وتشمل : ١) سهول رواسب المياه الجارية وأهمها السهول الفيضية Flood Plains ، وسهول الدلتاوات ،

وسهول الباجادا Bajada التى تتكون فى حضيض الجبال نتيجة لاتصال الدلتاوات التى تكونها رواسب الوديان الجبلية فى المناطق الجافة ، وسهول البلايا Playa التى تتكون فى الأحواض الداخلية التى تنتهى إليها المياه المنحدرة من الجبال فى المناطق الجافة . ب) سهول الإرساب الجليدى . التى تتكون من الركامات الجليدية بمختلف أشكالها . ج) سهول الارساب الهوائى وأهمها السهول الرملية وسهول اللويس Loess .

ثالثا ـ السهول الساحلية الحديثة : ومن أهمها السهول الساحلية التى ظهرت حديثا نتيجة لارتفاع جزء من قاع البحر ، أو انحسار المياه عن بعض المناطق الشاطئية الضحلة بسبب ارتفاع الأرض أو تراكم الرواسب على القاع .

وعلى الرغم من أن هذه السهول تكون مستوية عند بدء ظهورها ، فإنها لا تلبث أن تخضع لعوامل التعرية المختلفة فيتقطع سطحها بواسطة الأنهار التى تقطعها من ناحية اليابس ، كما تكثر بها المستنقعات والبرك التى تتجمع فيها مياه الأمطار . ومع ذلك فان الأنهار التى تقطعها تكون دائمـــا بطيئة الانحدار وقليلة العمق ، بسبب عدم وجود فرق كبير بين مستوى سطح الأرض ومنسوب القاعدة ، كما أن انحدار الأرض يكون بطيئا وغير كاف لتصريف كل المياه التى تتراكم على السطح فيتجمع الكثير منها فى الحفر والمنخفضات الضحلة التى تكثر عليه وتتكون منها كثير من المستنقعات والبرك والبحيرات التى قد تكون عظيمة الاتساع فى بعض الأحيان . وتوجد هذه الظاهرات بكثرة فى السهول الساحلية المنخفضة فى ولايات فرجينيا وكارولينا الشمالية وكارولينا الجنوبية وجورجيا وولايات الخليج

من فلوريدا إلى تكساس ، فمعظم هذا السهل مستو ، ولا يزيد منسوبه عن ١٥ مترا فوق سطح البحر ، وفيه تكثر المستنقعات والبحيرات والمجارى المائية بدرجة لا توجد فى أى منطقة أخرى فى الولايات المتحدة . ويقدر أن مساحة المستنقعات والبحيرات والأنهار الضحلة التى توجد فى هذا السهل تعادل ثلث المناطق رديئة الصرف فى الولايات المتحدة كلها . وتوجد سهول ساحلية من نفس هذا النوع فى شرق نيكاراجوا وشرق جنوب إفريقيا والحافات القطبية فى ولاية الاسكا وفى شمال الاتحاد السوفيتى .

سهول النحت المائى : (١)

قلما يوجد سهل فى العالم لم يتأثر بالتعرية المائية ، لأن هذا العامل من عوامل التعرية ينتشر انتشارا واسعا حتى فى المناطق الجافة . ولكنه لا يوجد مستقلا بل تتداخل معه التعرية الهوائية أو التعرية الجليدية . ويتوقف تأثير التعرية المائية على حجم المجارى النهرية التى تقطع السهل وعلى كمية ما تحمله من مياه ورواسب ، كما يتوقف على المرحلة التى تمر بها هذه التعرية . وعلى أساس هذه المرحلة فإن السهول تقسم إلى نفس المراحل التى تقسم إليها المجارى المائية ، وهى مرحلة الصبا والشباب ثم مرحلة النضج ومرحلة الكهولة .

مرحلة الصبا والشباب فى تطور السهول بواسطة النحت المائى :

فى هذه المرحلة يكون سطح الأرض مقطعا بواسطة وديان رئيسية متباعدة تتصل بها شبكة كثيفة من الروافد القصيرة المتجمعة على امتدادها بينما تكون أراضى ما بين الأنهار متسعة وملساء وانحداراتها معتدلة وخصوصا

(١) راجع موضوع « الدورة التحاتية المائية » ضمن الفصل الخامس عشر من هذا الكتاب .

فى أجزائها العليا ، التى تمثل السطح الأصلى للمنطقة ، والتى لم تصل إليها مجارى الروافد . وقد يكون السطح الأملس واحدا من الأسطح الآتية :

أ) سطح تحاتى قديم لدورة تحاتية سابقة وصلت إلى مرحلة الكهولة .

ب) سهلا فيضيا Allvial قديما . ج) قاعا سابقا لبحر أو بحيرة .

د) سطحا لغطاء جديد من غطاءات اللافا .

هـ) سطحا لمنطقة زحف عليها الجليد .

وتتوقف المظاهر التفصيلية لهذا السطح على الطريقة التى تنشأ بها ، وعلى أى حال فأيا كانت نشأته فان المهم فى هـذه المرحلة هو أن يكون سطح السهل أملسا بصورة واضحة ، وأن تكون ارتفاعاته ـ إن وجدت ـ صغيرة وألا توجد به منحدرات شديدة . فعندما يبدأ حفر الأنهار الرئيسية لوديانها على مثل هـذا السطح فان قدرتهـا على تعميق مجاريها تكون محدودة بينما تكون قدرتها على النحت الجانبى كـبيرة ، ولهـذا فانها تكون غالبا متسعة وقيعانها مسطحة ، بينما تكون الروافد التى تصب فيهـا ضيقة وانحداراتها أشد نسبيا . وتكون هذه الروافد متراصة حول المجرى الرئيسى نفسه بينما تبقى الأجزاء المرتفعة من أراضى ما بين الوديان ملساء وغير مقطعة ، ولكن يلاحظ أن ضفاف الأنهار نفسها تكون شديدة الانحدار .

ويكون نظام التصريـف النهرى فى هذه المرحلة هو غالبا النظام الشجرى dendritic ، ويظل هذا النظام واضحا إذا كان السهل مكونا من طبقات صخرية أفقية أو كان تركيبه متجانسا ، أمـا إذا كانت الطبقات مائلة أو كان التركيب الصخرى متباينا فإن نظاما أخرى قد تحـل محل هذا النظام فى مراحل التطور التالية لكى تتلاءم المجارى النهرية مع التركيب الجيولوجى

وفى هذه المرحلة تكون أراضي ما بين الوديان هي المناطق التى يتجمع فيها السكان ويتركز فيها الانتاج الزراعي وتمتد فوقها الطرق والسكك الحديدية وفى الأقاليم الجافة نسبيا قد تستغل أجزاء من قيعان بعض الوديان المتسعة للزراعة أثناء موسم الجفاف .

ومن الأمثلة على السهول التي تمر بمرحلة الشباب السهول العليا فى شرق جبال روكى فى كولورادو ونيومكسيكو وكانساس وأوكلاهوما وتكساس ، وكثير من سهول إلينوى وأيوا ومسورى الشمالية والأجزاء الخارجية من السهل الساحلى المطل على المحيط الأطلسى وخليج المكسيك بين جورجيا وتكساس .

مرحلة النضج فى تطور السهول بالنحت المائى :

فى هذه المرحلة تكون الروافد قد اندمجت بدرجة أدت إلى اختفاء الأراضى المرتفعة الأصلية التى تفصل بين الوديان الكبرى ، وتكون الانحدارات الشديدة على جوانب الأودية هى المظهر السائد فى المنطقة ، ويكون من الصعب أن توصف المنطقة بأنها سهلية ، لأن أغلب انحداراتها تكون شديدة ، ومع ذلك فان انحدارات الأنهار الرئيسية نفسها تكون صغيرة وتكون سرعة جريانها محدودة ، أما روافدها فتكون قد أكملت إزالة السطح العلوى الاصلى . وتكون وديان الأنهار الرئيسية قد اتسعت وأصبح قاعها فى الغالب مسطحا ، ويحدث ذلك فى أواخر مرحلة النضج وفيها يصبح سطح المنطقة كله معقدا وتسوده الوديان ذات الجوانب شديدة الانحدار . ولا يبقى من السطح الأصلى المستوى الذى كان يفصل

بين هذه الوديان شيء يستحق الذكر . ونتيجة لذلك يضطر السكان الذين كانوا يتجمعون فيها للانتقال إلى الوديان المتسعة نفسها .

وتوجد أمثلة للسهول المعقدة التي تمثل هذه المرحلة في شمال ولاية مسوري وجنوب ولاية أيوا وشرق نبراسكا وفي كثير من السهول الساحلية الداخلية، إلى الشرق من مرتفعات الابلاش في ولايتي جورجيا وكارولينا وفي مناطق متفرقة من الاجزاء الداخلية المحصورة بين جبال روكي ونهر المسوري .

مرحلة الكهولة في تطور السهول بالنحت المائي :

ويطلق على السهول في هذه المرحلة اسم شبه لسهل Peneplain ، وفيه تبقى من أراضي ما بين الانهار إلا تلالا صغيرة قليلة الارتفاع، بينما تكون الوديان قد أصبحت عظيمة الاتساع ، خصوصا عند مصباتها . وأشباه السهول هذه قد تكون متطورة من سهول عادية بعد مرورها في مرحلتي الشباب والنضج ، ولكنها قد تكون متطورة كذلك من مناطق جبلية معقدة . لكن عملية التطور في الحالة الاخيرة تكون بطيئة جدا ، وخصوصا في مراحلها الأخيرة ، والغالب هو أن تلالا كبيرة نسبيا تظل بارزة على السطح تدل على السطح الجبلي الأصلي ، وهذه التلال هي التي تعرف باسم Monadnock . ولكن من النادر أن نجد في الوقت الحاضر أشباه سهول وصلت في تطورها إلى مستوى القاعدة فعلا (وهي آخر مراحل التطور) بحيث كذلك حتى الآن ، لأن حركات القشرة الارضية وذبذبات سطح البحر كانت دائما تتدخل في تطور هذه السهول حتى ولو كانت قد وصلت إلى آخر مراحل تطورها .

سهول أقدام الجبال Pediplains :

وهى كما سبق أن ذكرنا عند الكلام على التعرية المائية فى المناطق الجافة عبارة عن سهول تحاتية تتكون بجوار قاعدة الجبال مباشرة ويكون سطحها صخريا أملسا ومقوسا تقوسا خفيفا مع انحدار بطىء إلى الخارج ، وقد يغطى سطحها بطبقة رقيقة من الرواسب التى قد تبقى فوقها ، وتتسع هذه السهول باستمرار على حساب الجبال المجاورة لها .

وتوجد أمثلة لهـذه السهول فى مناطق كثيرة من العالم مثل المناطق الصحراوية المحيطة بسلاسل الجبال فى أمريكا الشمالية وفى شمال شيلى وجنوب غرب إفريقيا وبعض أجزاء الصحراء الكبرى بل ومعظم المناطق الصحراوية التى كانت فى الماضى مناطق جبلية .

ونظرا لطبيعتها الصخرية ورقة طبقة التربة التى تغطيها إن وجدت فان هـذه السهول لا تصلح لنمو النباتات أو للزراعة ، وذلك عـلى العكس من السهول الرسوبية التى تتكون بجوارها من تلاحم دلتاوات الوديان المنحدرة على جوانب الجبال (١) .

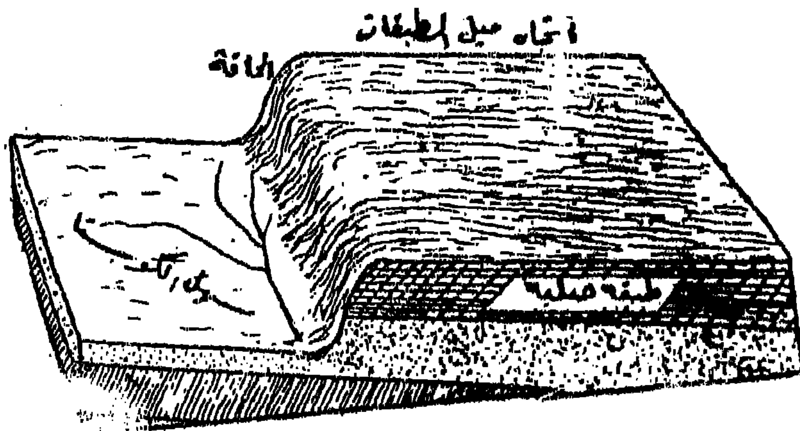
سهول الكوستا :

المقصود بالكوستا هو الحافة الجبلية الطولية التى تتكون نتيجة لبقاء طبقة صخرية صلبة بارزة بعـد تآكل الطبقات اللينة التى تحتها . أمـا سهل الكوستا فهو السهل الذى يتكون أمام هذه الحافة نتيجة لتآكلها وتراجعها بسبب عمليات التعرية ، وخصوصا التعرية المائية .

---

(١) راجع موضوع (دور المياه الجارية فى تشكيل سطح الاقاليم الجافة) ضمن الفصل الخامس عشر .

و تنشأ الكويستات عادة فى المناطق المكونة من طبقات رسوبية متباينة فى صلابتها ومائلة ميلا بسيطا . فى مثل هذه المناطق تحدث التعرية ، وخصوصا التعرية المائية ، فى الطبقات اللينة ، بينما تبقى الاطراف العليا للطبقات الصلبة بارزة بشكل حافات طولية تفصل بينها سهول متسعة نسبيا . وتتميز كل كويستا بأن لها جانبين أحدهما بطىء الانحدار ويميل فى نفس اتجاه ميل الطبقات ، والثانى شديد الانحدار ويشرف على السهل الممتد أمامه بشكل حافة متصلة أو متقطعة على حسب عمر الكويستا . ففى الكويستات الحديثة تكون الحافة متصلة ولكنها تفقد اتصالها تدريجيا بمرور الوقت نتيجة لتقطعها المستمر بواسطة الوديان النهرية حتى تتحول إلى سلسلة من التلال التى تأخذ فى التناقص فتفقد نتيجة ذلك شكلها الأصلى المحدد كما يأخذ السهل الذى تكون أمامها فى الاتساع بسبب تراجعها المستمر ، ومع ذلك فقد يبقى على هذا السهل بعض التلال الصغيرة التى تتخلف عنها . وهكذا فان الكويستات تتباين فيما بينها فى مظهرها العام ، وفى اتساع السهول التى تتكون أمامها على حسب أعمارها وسمك الطبقات الصلبة التى تتكون منها وسرعة تآكل الطبقات التى تحتها .



شكل (١٣٦) سهول الكويستا

وتعتبر الكويستات وسهولها من الظاهرات الجيومورفولوجية المنتشرة في مختلف الأقاليم، ومن أشهرها الكويستا التي نشأت عندها شلالات نياجرا[1]، والتي تخلفت عنها التلال التي ما زالت موجودة في جنوب ولاية وسكونسن وكذلك الكويستات التي توجد حول حوض باريس الذي يعتبر من أوضح أمثلة سهول الكويستا. فقد تكون هذا الحوض من سلسلة من السهول التي تكونت أمام ست من الكويستات التي ما زالت ظاهرة من حوله، على الرغم من أنها قد تقطعت تقطيعا شديدا بواسطة كثير من المجاري النهرية. وقد لعبت هذه الكويستات أدوارا هامة في الدفاع عن مدينة باريس في أثناء الحروب.

سهول ارساب المياه الجارية Alluvial Plains

تتكون هذه السهول حينما تتمكن المياه الجارية من ترسيب حمولتها. ويحدث ذلك في الاماكن التي تهدأ فيها سرعتها. وقد سبق أن تكلمنا على دور المياه الجارية في الارساب وعلى بعض الظاهرات التي تنتج عنه وتتوزع رواسب المياه الجارية دائما في مستويات أفقية وتتكون منها سهول تتميز باستوائها التام والواقع أن السهول التي تنتج عن الارساب المائي تعتبر من أكثر السهول استواءا في العالم ومع ذلك فان هذه السهول تتباين فيما بينها على حسب المواضع والظروف التي يحدث فيها الارساب. وعلى هذا الأساس يمكننا أن نميز ثلاثة أنواع من هذه السهول، وهي السهول الفيضية Flood Plains، وسهول الدلتاوات، وسهول حضيض الجبال أو الباجادا.

---

(1) V.C. Finch Q T. Trewartha, "Physical Elements of Geography," 1957, P. 276

السهول الفيضية Flood plains . ويقصد بها السهول التي تتكون نتيجة للترسيب في وادي النهر ، ويختلف سمك الطبقات التي تتكون نتيجة لهذا الترسيب من بضع سنتيمترات إلى بضع مئات من الأمتار فوق القاعدة الصخرية ، ففي حوض نهر المسيسبي مثلا يبلغ سمك طبقات السهل الفيضي أكثر من ٣٥ مترا ، بل إنه يصل إلى أكثر من ١٣٠ مترا عند مصبه ، وقد يزيد من ذلك في وديان بعض الأنهار الأخرى .

وأوضح صفة من صفات السهل الفيضي هي استواء سطحه ، ومع ذلك فان هنالك بعض المظاهر التي قد تميز بعض السهول عن بعضها الآخر . ومن المظاهر الشائعة في السهول الفيضية وجود المجاري المائية النشطة والمجاري المائية المتروكة والجسور الرسوبية الطبيعية Levees حول المجاري المائية النشطة والمجاري المتروكة ، ووجود مساحات واسعة مستوية بين المجاري المائية وخلف الجسور .

ويغلب أن تكون المجاري المائية في السهول الفيضية كثيرة الانثناءات وكثيرة التفرع braided . وتتوقف درجة الانثناء على اتساع النهر نفسه بالنسبة لاتساع سهله الفيضي ، وعلى نوع المادة الفيضية ، فكلما اتسع السهل الفيضي كانت أقواس الثنيات مكتملة ومتوغلة نحو جانبي الوادي . والمعتاد هو أن يكون اتساع نطاق الثنيات المكتملة معادلا لاتساع النهر نفسه بين ١٥ و ٢٠ مرة ، فان كان اتساع الوادي أقل من ذلك فان الثنيات لا تستطيع أن تكمل تكوينها بسهولة ، بينما تستطيع أن تلتف بسهولة من أحد جوانب الوادي إلى الجانب الآخر إذا كان السهل الفيضي متسعا . وتحدث مثل هذه الانثناءات كذلك في الروافد التي تصب في النهر الأصلي ، ولكنها تكون

صغيرة نسبيا . كما أن الثنيات عموما لا يستطيع أن يمكن تطورها بسهولة إذا كانت تكوينات السهل الفيضي من النوع الصلصالي المتماسك أو من أي نوع آخر لا يسهل نحته .

وتعتبر المجاري المائية المتفرعة braided كذلك من الظاهرات الشائعة في السهول الفيضية . ويختلف مظهر هذه المجاري في موسم ارتفاع المياه عنه في موسم انخفاضها ، ففي موسم ارتفاع المياه يغطي نطاق القنوات النهرية كله بطبقة رقيقة نسبيا من الماء ، وقد ينتج عن ذلك تحويل المياه عن بعض المجاري إلى مجار جديدة وتكوين حواجز رسوبية طولية جديدة ، أما في موسم انخفاض الماء فإن معظم النطاق يكون جافا باستثناء بعض المستنقعات أو المسارب الصغيرة التي تبقى في المجاري العميقة ، وتتحول باقي المجاري والجسور التي تفصلها إلى مناطق رملية جافة خالية من النباتات ، وتظهر بعض المجاري المتروكة التي تتحول منها المياه بعد أن كانت تمتلىء بها . وفي الاقاليم الجافة تكون المجاري النهرية غالبا متفرعة ، ويكون موسم جريان الماء فيها قصيرا ، ولا يزيد أحيانا عن بضعة أيام عقب سقوط الامطار مباشرة بينما يبقى سطحها رمليا مكشوفا في باقي أيام السنة . وقد يحدث في بعض الانهار أن يشغل نطاق الفروع كل عرض السهل الفيضي ، ولكن المعتاد هو أن يشغل قسما منه فقط ، ويكون منسوبه منخفضا عن منسوب باقي السهل الفيضي بأمتار قليلة .

وتعتبر البحيرات الهلالية (أو المقتطعة) من المظاهر الشائعة كذلك في السهول الفيضية ، وقد سبق أن شرحنا كيفية تكونها (١) ، ولكن معظم

---

(١) راجع القطاع العرضي للنهر في الفصل الخامس عشر) .

هذه البحيرات لا يدوم طويلا ، لأنها تتعرض دائما للارساب سواء بوصول الرواسب إليها من المناطق المحيطة بها أو عندما تصل إليها مياه الفيضان ، كما تنمو فيها كثير من النباتات التي تساعد على امتلائها ، ولذلك فانها تختفي تدريجيا وتتغير أشكالها ببطء ، وقد يجف بعضها كليا أو جزئيا فلا يبقى ما يدل عليها إلا منخفضات ضحلة هلالية الشكل ، وقد تتحول هذه المنخفضات إلى مستنقعات إذا وصلتها مياه الفيضان أو إذا ملأتها مياه الأمطار .

وتعتبر الجسور الرسوبية الطبيعية التي تمتد على جوانب المجاري المائية الشدلة أو المتروكة من الظاهرات الأخرى المهمة في السهول الفيضية . وهذه الجسور هي أعلى أجزاء السهول الفيضي . ونظرا لارتفاعها فإنها تكون جيدة الصرف ، ويبدو هذا واضحا من الحياة النباتية الكثيفة التي تغطيها . وبعض هذه الجسور يكون عريضا بدرجة تسمح باستخدامه للزراعة ، ولبناء مراكز العمران ومد طرق المواصلات .

وبعكس هذه الجسور فان الاراضي المنخفضة المجاورة لها تكون رديئة الصرف ، ويكون سطح المياه الجوفية فيها قريبا من السطح ، ولذلك فانها تكون كثيرة المستنقعات . وكثيرا ما تطغى عليها مياه الفيضان ، ويحتاج استخدامها للزراعة إلى مجهودات خاصة لتصريف مياهها بواسطة شبكة من المصارف مثل الشبكة التي توجد في السهول الفيضي لنهر النيل في مصر والسهل الفيضي لنهر اليانجتسي في الصين . وكثيرا ما تتعرض السهول الفيضية لخطر الفيضانات كلما ارتفع منسوب الماء في النهر .

وقد يظهر على جانبي السهل الفيضي زوج أو أزواج من المصاطب

الرسوبية التي تكونت عندما كانت مناسيب النهر أعلى منها في الوقت الحاضر وقد سبق أن تكلمنا على هذه المصاطب ، وذكرنا أنها تدل على مرات هبوط مستوى قاعدة النهر [1] . ونظرا لارتفاع منسوب هذه المصاطب عن منسوب السهل الفيضي الحالي فانها لا تعاني من سوء الصرف وتكون لذلك أكثر صلاحية للزراعة وأكثر سلامة من أخطار الفيضانات . ولكن هذه الميزة يقابلها من ناحية أخرى أن هذه المصاطب تكون دائما محرومة من الرواسب الجديدة التي تجلبها مياه الفيضانات كل سنة ، والتي تساعد على تجديد خصوبة تربتها .

سهول الدلتاوات :

تختلف هذه السهول عن السهول الفيضية من حيث ظروف نشأة كل منها فبينما تتكون السهول الفيضية نتيجة للارساب على اليابس فان سهول الدلتاوات تتكون نتيجة للارساب في منطقة بحرية ضحلة مياهها هادئة . ومع ذلك فانهما يتشابهان في مظاهر سطحها عند اكتمال تكوينها بحيث يكون من الصعب وضع حد فاصل بينهما في منطقة التقائهما وتبدأ الدلتا في التكوين بمجرد أن يبدأ النهر في إلقاء رواسبه عندما يقابل المياه الضحلة التي يصب فيها ، سواء أكانت مياه بحر أو بحيرة . وكلما نمت الدلتا وارتفع سطحها كلما أبطأ جريان الماء في الفروع النهرية التي تخترقها ، ونتيجة لذلك يزداد الارساب عند بداية هذه الفروع بل ويأخذ الارساب في التراجع نحو الوادي نفسه ، وهنا تتداخل الدلتا في السهل الفيضي فلا يظهر أي حد فاصل بينهما .

---

(١) راجع القطاع العرضي للنهر في الفصل الخامس عشر .

ويتميز سهل الدلتا بنفس المظاهر التي يتميز بها السهل الفيضي للوادي ، فهو يشبهه في استواء سطحه وفي كثرة ما به من مجار مائية تحددها جسور رسوبية، وفي كثرة المستنقعات التي تنتشر خلف هذه الجسور، وفي كثرة المجاري المائية المتروكة . وتكون بعض المجاري المائية مستقيمة ، بينما يكون بعضها الآخر كثير الانثناءات Meanders كما يكون بعضها كثير التفرع Braided . ولكن مع فارق رئيسي وهو أن فروع الدلتا تنحدر كلها نحو البحر ويتكون منها غالبا شكل مروحي . إلا أن معظم هذه المظاهر قد تعدلت في كثير من الدلتاوات نتيجة للتوسع الزراعي والعمراني ، فجففت المستنقعات في كثير من المناطق وتحولت المجاري المائية والمجاري المتروكة إلى ترع وقنوات للري أو إلى مصارف للتخلص من المياه الزائدة في التربة أو لغسلها .

وتعتبر الجسور الرسوبية من أصلح أراضي الدلتاوات لمد الطرق والسكك الحديدية ، ولنشوء المراكز العمرانية والتجمعات البشرية ، وذلك بسبب جفافها النسبي ، ويتراوح ارتفاع هذه الجسور بين متر ومترين عن سطح الأرض المحيطة بها ، ولكن ارتفاعها يتناقص كلما اقتربنا من سطح البحر حتى تكاد تختفي في المسطحات المائية المجاورة له . وقد يظهر بعضها في هذه المسطحات بشكل أصابع متجهة إلى البحر .

وباستثناء هذه الجسور وبعض الأجزاء المرتفعة الأخرى عند رأس الدلتا وفي أواسطها فإن منسوب سطح القسم الأكبر منها يكون قريبا من منسوب سطح البحر ، وخصوصا في أجزائها الساحلية التي مازالت غير مكتملة التكوين ، فهنا يكون منسوب سطح الأرض هو نفس منسوب سطح البحر تقريبا ، ولهذا السبب فإن معظم هذه الأجزاء تكون مغمورة بالماء ، ولا يكون من السهل مشاهدة الحد الذي تنتهي عنده الدلتا ، ولكن يمكن الاستدلال عليه

بواسطة النباتات البحرية التى تظهر عادة فى خط يتفق مع حافة الدلتا المغمورة. وقد دفعت الحاجة الى التوسع الزراعى بعض الدول إلى تجفيف الاجزاء الساحلية من الدلتاوات وتحويلها إلى مناطق زراعية ولكن بمجهودات وتكاليف كبيرة

ودلتا نهر النيل هى أشهر دلتا معروفة منذ التاريخ القديم . وهى أول دلتا أطلقت عليها هذه التسمية بواسطة اليونانيين القدماء . وقد كانت لهـا أدوار هامة فى كل العهود الحضـارية منذ الفراعنة . وتوجد غيرها مئات الدلتاوات فى العالم . ومن أشهرها دلتاوات أنهار الرون والبو والفلجا والسند والكنج والايراوادى والهوانج والأورينوكو والـكولورادو والمسيسبي والنيجـر والزمبيزى . أما معظم الدلتاوات الأخرى فغير مشهورة إما بسبب بعدها عن مراكز ازدحام السكان ، أو بسبب عدم اهتمام الباحثين بدراستها حتى الآن

وتعتبر دلتا المسيسبي من أشهر الدلتاوات التى درست دراسة علمية جيدة . ويبلغ طول واجهتها على خليج المكسيك حوالى ٢٣٠ كيلو مترا (١٥٠ ميلا) وهو تقريبا نفس البعد بين رأسها وساحل البحر . ويرجع بدء تكوينها إلى أواخر عصر الجليد فى الزمن الرابع، ففى ذلك الوقت أخذت تصل إلى منطقتها من ناحية الشمال كميات ضخمة من الرواسب التى حملتها المياه الناتجة عن انصهار الجليد [١] . وقد تراكمت هـذه الرواسب فى خليج ضحل ، وكلما زاد تراكمها كلما أخذ سطحهـا فى الهبوط ، ومازال هـذا الهبوط مستمرا حتى الآن ، ولكن ببطء شديد جدا ، وهذا هو السبب فى أن هذه الدلتاوات لم تعد تتقدم فى ميـاه الخليج تقدما يذكر إلا فى مواضع قليلة تتميز بنشـاط عمليات الارساب فيها . ويتركز التجمع البشرى فى هـذه الدلتا على الجسور

---

(١) Finch and Trewartha, Ibid, P. 285.

الرسوبية الطبيعية، فعلى هذه الجسور نشأت المدن والطرق والسكك الحديدية والحقول . وقد نشأت مدينة نيو أورليانز نفسها على أحد هـذه الجسور بالإضافة إلى المنطقة التي جففت بجواره . ولا تزال هـذه المدينة تعانى من كثرة المسطحات المائية المحيطة بها ومن قرب الطبقة المائيـة من السطح ، وما يترتب على ذلك من مشكلات كثيرة من النواحى الصحيـة والعمرانيـة والزراعيـة .

وتعتبر دلتا نهر النيل كذلك من أشهر دلتاوات العالم بسبب وجودها فى أقدم مناطق الحضارات البشرية الراقية . ولقد بدأ تكونها فى الزمن الرابع الجيولوجى فى مدخل ذراع بحرى قديم كان نهر النيل يصب فيه . وهى تعتبر فى تطورها نموذجا للتطور الذى تمر به الدلتاوات المثالية ، إلا أن مشروعات الرى واستصلاح الأراضى والنمو العمرانى والسكانى فى مختلف أجزائها غيرت كثيرا من مظاهرها الطبيعية ، ومع ذلك فمازالت تتمثل فى كثير من أجزائها معظم المظاهر التى تتميز بها سهول الدلتاوات ، ومن أهمها استواء السطح وكثرة الجسور الرسوبية والمستنقعات الواقعة خلف هذه الجسور والقنوات المتروكة التى تحول الكثير منها إلى مصارف أو ترع وقنوات للرى .

سهول الارساب المائى فى الاقاليم الجافة : (١)

أهم هذه السهول هى .

١) سهول الدلتاوات الجافة وأهمها هى السهول التى تتكون من التحام عدد من الدلتاوات بجوار الجبال .

٢) سهول أحواض الصرف الداخلى ومن أشهرها سهول البلايا Playa .

---

(١) راجع موضوع « دور المياه الجارية فى تشكيل سطح الأقاليم الجافة » ضمن الفصل الخامس عشر .

سهول الدلتاوات الجافة: وهى تنشأ فى نهاية وديان الأنهار الفصلية (الأخوار) ومجارى السيول التى تنتهى على اليابس. وهى كثيرة الوجود فى الأقاليم الجافة التى لا تجرى المياه فى كثير من أنهارها إلا فى موسم المطر، ولا تستطيع أن تصل إلى أى بحر أو بحيرة أو نهر كبير. ففى هذه الحالة تتجمع الرواسب عند نهاياتها بشكل دلتاوات تكون رواسبها خشنة عند رأسها، وتتناقص خشونتها كلما بعدنا عن نهاية الوادى. وقد تتسع الدلتا التى تتكون بهذا الشكل بدرجة تكفى لنشوء مراكز عمرانية وحقول زراعية واسعة، خصوصا وأن المياه التى تنحدر نحوها تتسرب فى تكويناتها وتتكون منها موارد مائية أرضية غنية فى كثير من الأحيان. ومن أشهرها السهول التى من هذا النوع السهل الذى يتكون من دلتا خور الجاش، والذى نشأت عليه مدينة كسلا فى شرق السودان.

وكثيرا ما تتكون حول جبال الأقاليم الجافة سلاسل من هذه الدلتاوات، وكلما زادت أحجامها اقتربت من بعضها حتى تتلاحم وتكون سهلا رسوبيا واحدا يعرف فى كثير من المناطق باسم « الباجادا » أو « الباهادا ». وقد سبق أن أطلقنا عليه اسم « سهل حضيض الجبال »، وهو يكون منفصولا عن قاعدة الجبال نفسها بواسطة السهل الحصائى المعروف باسم « سهل قدم الجبال Pediplain »، ومن الطبيعى أن تكون رواسب سهل الحضيض (الباجادا) خشنة فى أجزائه الأقرب إلى الجبال، وهى الأجزاء التى تمثل رؤوس الدلتاوات التى كونته، ثم تتناقص أحجامها كلما ابتعدت عنها، كما أن منسوب سطحها ينخفض تدريجيا فى نفس الاتجاه. ويكون هذا السهل عادة غنيا بمياهه الارضيـة، وتكون التربة فى أجزائها الأبعد عن الجبال خصبة وصالحة للانتاج الزراعى. وبعض هذه السهول عظيم الاتساع جدا،

لدرجة أنها استطاعت أن تستوعب مراكز عمرانية كبيرة ، وتنتج إنتاجا زراعيا وحيوانيا كبيرا ومتنوعا. ومثال ذلك السهول التي توجد في وديان ساكرامنتو وسان جواكين San Joaquin في كاليفورنيا، والسهول الموجودة في وادي شيلي بأمريكا الجنوبية وفي منطقة سمرقند في التركستان الروسية (١) .

سهول أحواض الصرف الداخلي : تتكون هذه السهول عادة في المناطق الجافة وشبه الجافة بالقرب من مناطق الباجادا ، حيث تنصرف المياه المنحدرة في بعض الوديان إلى منخفضات داخلية فتتراكم الرواسب التي تحملها هذه الوديان على قاع المنخفضات وتتكون منها سهول مكونة غالبا من رواسب طينية ناعمة ، وتتجمع المياه في أعمق أجزاء المنخفضات لتتكون منها بحيرات يتوقف حجمها على كمية المياه. ولكن التبخر المستمر مع انقطاع المياه يؤدي إلى جفاف كثير من هذه البحيرات فتتخلف في مكانها مسطحات من التربة المالحة . والبحيرات التي تجف بهذا الشكل هي التي يطلق عليها في أمريكا اسم بلايا Playa . ولكن بعض هذه البحيرات عبارة عن بحيرات مستديمة ، وقد يكون بعضها كبيرا بدرجة تجعله أقرب إلى البحار ولتكوين مثل هذه البحيرات يجب أن تكون المياه الواصلة إليها معادلة على الأقل لمجموع المياه التي تضيع منها بالتبخر والتي تتسرب منها في الصخور . ومياه أغلب هذه البحيرات تكون مالحة ، كما أن تربة السهول الطينية الممتدة حولها تكون هي الأخرى مرتفعة الملوحة . وتوجد في مختلف جهات العالم مئات من البحيرات المالحة الصغيرة التي من هذا النوع ، أما البحيرات والبحار الداخلية الكبيرة فعددها محدود ومن أمثلتها البحيرة المالحة العظمى

---

(١) Ibid, P 290

Great Salt Lake في ولاية يوتاه بشمال أمريكا الشمالية ، وبحر آرال وبحر
قزوين اللذين توجد حولهما سهول القارة الأوراسية ، ثم بحيرة
تشاد في إفريقية ، ومن أمثلة البحيرات التي جف معظمها وتحولت
إلى مسطحات مالحة بحيرة آير Eyre في جنوب استراليا والبحيرات التي توجد
في بعض أجزاء إقليم كالهاري في جنوب إفريقيا . ومازالت توجد في
وسط المسطحات المالحة في كل هذه المناطق بحيرات مالحة صغيرة متخلفة من
البحيرات القديمة . وتوجد في الفرع الشرقي من الأخدود الإفريقي العظيم
سلسلة من البحيرات الداخلية الصغيرة وأكبرها هي بحيرة رودولف .

سهول التعرية الجليدية :

أهم هذه السهول هي سهول شمال أمريكا الشمالية وشمال غرب أوراسيا ،
وهي المناطق التي غطاها الجليد خلال العصور الجليدية التي شغلت وقتا
طويلا من الزمن الجيولوجي الرابع ، أي خلال المليون سنة الأخيرة من
عمر الأرض . فعلى الرغم من أن العوامل الرئيسية التي شكلت تضاريس هذه
السهول هي العوامل التكتونية وعوامل التعرية المائية فإن كثيرا من أشكالها
السطحية قد تكونت بسبب التعرية الجليدية ، ومع ذلك فإن كثيرا من
هذه الأشكال قد تعدلت بفعل التعرية المائية خلال الفترة التي أعقبت التقهقر
الأخير للجليد منذ حوالي ٢٥ ألف سنة ، ومع ذلك فإن آثار النحت و
الإرساب الجليديين مازالت واضحة ، ولكن بدرجات متفاوتة في كثير
من المناطق ، إلا أن بعض المناطق تظهر فيها آثار النحت أوضح من آثار
الإرساب ، بينما يظهر العكس في مناطق أخرى ، ولهذا فإن الباحثين يقسمون
السهول التي ساهم الجليد في تشكيلها إلى قسمين هما : سهول النحت الجليدي ،
وهي غالبا السهول التي توجد في المناطق التي كان يتوزع منها الجليد ومعظمها

مكون من صخور بلورية ، ثم سهول الارساب الجليدى ، وهى غالبا السهول التى كان الجليد يزحف نحوها ويلقى برواسبه فوقها ، ومعظمها مكونة من ركامات جليدية مختلفة الأنواع .

سهول النحت الجليدى : تتميز هذه السهول بأن سطحها صخرى وتكثر به التلال ذات القمم المستديرة ، والوديان العريضة المفتوحة والأحواض المتباينة الأحجام . وهى غالبا خالية من التربة ، ولذلك فإنها لا تصلح للزراعة إلا حيثما تتجمع بعض التربة الرقيقة فى الوديان والمنخفضات . وقد سبق أن تكلمنا على الظاهرات التى تنتج عن النحت الجليدى [1] . وحيثما كان النحت الجليدى شديدا تكونت كثير من البحيرات فى الأحواض الصخرية التى خلفتها عمليات النحت ، ويقدر أن فنلندة وحدها بها حوالى ٣٥ ألف بحيرة تشغل فى مجموعها حوالى ١١ ٪ من المساحة الكلية للبلاد . كما أن ٢٥ ٪ من المنطقة الواقعة إلى الشمال والغرب من بحيرة سوبيريور فى مقاطعتى مينيسوتا وأونتاريو فى كندا تشغلها بحيرات من هذا النوع . وتتباين هذه البحيرات فيما بينها تباينا كبيرا فى العمق والمساحة ، ولكن أغلبها بحيرات ضحلة ، وتوجد فى وسط بعضها جزر صخرية سطحها مصقول كذلك بواسطة النحت الجليدى . وتتميز أنهار هذه السهول بكثرة تعاريجها وبكثرة شلالاتها وجنادلها حيث أنها لم تصل بعد إلى مرحلة التعادل

وتوجد سهول النحت الجليدى بصفة خاصة فى المناطق التى كان الجليد يتوزع منها فى عصر الجليد . وهى سهول فنلندة والسويد فى أوروبا والسهول اللورنسية المرتفعة فى كندا . وسهول فنلندة والسويد والبحر البلطى فى أوروبا .

---

(١) راجع الفصل السادس عشر .

سهول الارساب الجليدى : توجد هذه السهول فى المناطق التى كان الجليد يزحف نحوها والتى كان يلقى فيها بإرساباته المتنوعة بعد انصهاره ، ولذلك فإنها توجد إلى الجنوب من سهول النحت الجليدى التى تكلمنا عنها - وأهم ما يميز مناطقها هو أنها مكونة من صخور رسوبية وأنها مغطاة بإرسابات جليدية مختلفة ، وأنها تحتوى على تربة صالحة للانتاج الزراعى ، ولذلك فإنها أهم من حيث فائدتها للاستخدام الاقتصادى والتجمع البشرى من مناطق النحت الجليدى . ونظرا لأن الارسابات الجليدية كانت تتراكم بصفة خاصة فى الوديان والمنخفضات بينما كانت المرتفعات تتعرض للنحت ، فان سطح هذه السهول أصبح أكثر استواءا من سهول النحت ، وقد كان هذا الاستواء واضحا فى المناطق التى كانت فيها طبقة الرواسب سميكة بدرجة أدت إلى تغطية كل مظاهر السطح الأخرى واختفائها تحتها ، فقد تبين أن سمك هذه الرواسب كان يزيد فى بعض المناطق على ١٥٠ متر . وقد سبق أن تكلمنا على أنواع الرواسب الجليدية فى فصل سابق وذكرنا أن من أهمها الركامات الجليديه المختلفة ، وهذه الركامات هى التى تظهر بكثرة فى سهول الارساب ، وخصوصا الركامات السفليه التى تغطى كل المناطق التى وصل إليها الجليد تقريبا . وتتكون هذه الركامات من إرسابات متنوعة تتراوح أحجامها بين حجم حبيبات الصلصال الدقيقة إلى حجم الكتل الصخرية الضخمة .

وهذه السهول ليست تامة الاستواء ولكنها تضم غالبا بعض التلال وصفوف الركامات الهامشية والمنخفضات التى تعطى للسطح شكلا مموجا ، وتوجد هنا مجموعات كبيرة من « الكثبان الجليدية أو الدرملينز Drumlins » وهى عبارة عن تلال تأخذ شكل نصف البيضة ، وكانت فى

الأصل ركامات جليدية ثم عاد الجليد وزحف عليها فأعطاها هذا الشكل (١).
ويوجد كذلك كثير من البحيرات الضحلة التي تكونت في المنخفضات التي تفصل الركامات بعضها عن بعض وتتبع الأنهار في جريانها نفس هذه المنخفضات ولذلك فإنها تكون كثيرة التعاريج. ومع ذلك فإن التطور الزراعي والعمراني في هذه السهول قد أدى إلى حدوث تعديلات كثيرة في مظاهر السطح حيث اختفت كثير من البحيرات وتهذبت مجاري كثير من الأنهار.

سهول التعرية الهوائية :

إن الصحاري هي أهم الأقاليم التي تلعب الرياح دورا هاما في تشكيل سطحها بسبب خلوها من الغطاء النباتي الذي يمكن أن يحمي سطحها من عمليات التعرية الهوائية. ومع ذلك فمن المؤكد أن التعرية المائية تلعب هي الأخرى دورا هاما في تشكيل سطح الصحاري.

وأهم دور تقوم به الرياح هو نقل المواد الناعمة من مناطقها إلى مناطق أخرى مما يؤدي إلى تخفيض سطح المناطق الأولى ورفع سطح المناطق الثانية. ولكن تأثير الرياح لا يتركز على مواضع محددة مثل المياه وإنما يشمل مساحة شاسعة من السطح. ومع ذلك فإنها تستطيع أن تحفر بعض المنخفضات في بعض المواضع إذا توفرت لها شروط وظروف خاصة، كما سبق أن شرحنا عند الكلام على المنخفضات الصحراوية (٢).

وتعتبر السهول الصحراوية الحصوية نتيجة من أهم نتائج التعرية الهوائية، وذلك لأن الرياح تنقل عند هبوبها الرمال السطحية بمختلف أحجامها، على

(١) راجع الفصل السابع عشر.
(٢) راجع الفصل الرابع عشر.

بسبب سرعتها ، بينما يتخلف الحصى وتتكون منه طبقة تحمى الرمال التى تحته . . . هذا إذا كانت رمال المنطقة مختلطة بالحصى ، أما إذا كانت كل التكوينات عبارة عن رمال فإن الرياح تزيلها باستمرار ويترتب على ذلك انخفاض تدريجى فى سطح المنطقة . وليست كل الصحارى على أية حال رملية ، لأن هناك مساحات صحراوية شاسعة غير رملية . وتوجد أكبر المساحات الصحراوية الرملية فى العالم فى أواسط شرق الصحراء الكبرى وفى جنوب شبه الجزيرة العربية. والمصدر الرئيسى لهذه الرمال هو تجوية الصخور الجرانيتية والرملية التى تحتويها .

والتعرية الهوائية هى المسئولة كذلك عن كثير من الأشكال التى تنشأ من تراكم الرمال وأهمها الكثبان بمختلف أنواعها (١) ، سواء فى ذلك الكثبان المتحركة أو الكثبان التى تماسكت رمالها وتكونت منها تلال رملية ثابتة .

سهول اللويس Loess : وهى من أهم السهول التى تدين فى نشأتها إلى فعل الرياح . وهى مكونة من تربة اللويس المشهورة ، وهى تربة مكونة من أتربة ناعمة جدا نقلتها الرياح من المناطق التى توجد فيها حاليا ، وقد كانت كميات الأتربة المنقولة كبيرة جدا بدرجة أدت إلى تكوين طبقات من هذه التربة يزيد سمكها فى بعض المناطق على مائة متر . ولكن يلاحظ أنه لا يشترط أن تكون كل مناطق اللويس سهولا، لأن الأتربة التى نقلتها الرياح كانت ترسب على السهول وعلى الجبال والهضاب على حد سواء ، فكانت لذلك تأخذ شكل المنطقة التى أرسبت فوقها .

وتتميز تكوينات اللويس بأنها غير مرتبة فى طبقات وبأنها شديدة النفاذية

---

(٢) راجع الفصل الرابع عشر .

الماء بسبب الشقوقات الرأسية التي تكونت فيها مكان النباتات التي دفنت وتحللت فيها ، وهي ليست شديدة التماسك ، ولذلك فإن الأنهار تعمق فيها مجاريها بسهولة ، وتظهر جوانب الأنهار التي تخترقها بشكل جروف يسهل انهيارها . تكاثر على سطح سهول اللويس الحفر التي تمتلىء بالماء ، ويشتهر هذا النوع من التربة بخصوبته .

ومن أكبر سهول اللويس في العالم سهل البمبا في الأرجنتين . ومن المرجح أن الأتربة التي يتكون منها قد نقلت إليه بواسطة الرياح من منحدرات جبال الانديز في الغرب ، وهو سهل خصب عظيم الانتاج الزراعي . وفي أواسط الولايات المتحدة يغطي اللويس كذلك مساحات واسعة ، كما تشتهر الصين بتكوينات اللويس السميكة التي تغطي مساحات شاسعة في شمالها الغربي . ولكن مناطق اللويس هنا لا تظهر بشكل سهول بمعنى الكلمة ، لأن الأتربة التي وصلت إلى هذه المناطق من السهول الجافة في أواسط آسيا وغربها قد تراكمت فوق أراضى كثيرة التلال ، فبقى سطحها معقدا ، ثم ازداد تعقيده بفعل التعرية المائية ومن هذه المنطقة يحمل نهر هوانج (أو النهر الاصفر) الرواسب الصفراء الكثيرة التي أخذ منها اسمه ، والتي تكونت منها السهول في منطقة دلتاه .

السهول الكارستية Karst Plains :

تنتشر هذه السهول في مختلف القارات ولكن أغلبها يكون صغير المساحة . وهي تشترك في بعض الظاهرات التي تميز سطحها ، وأهمها الظاهرات التي تنتج عن ذوبان الصخور في المياه ، وخصوصا المياه الجوفية ، بينما لا يكون للمياه السطحية تأثير كبير عليها ، حيث أن انهارها السطحية تكون قليلة أو معدومة في بعض المناطق .

وبخلاف السهول التي تتكون بفعل المياه الجارية ، والتي يكون سطحها مستويا فإن سطح السهول الكارستية يكون معقدا بسبب كثرة الظاهرات الكارستية التي تنشأ به نتيجة لذوبان الصخور الجيرية في الماء ، والتي من أهمها الحفر الوعائية Sinkholes ذات الأحجام المتفاوتة ، والمرتفعات التي تنتشر بغير نظام معين ولا تكون لها أشكال أو أحجام محددة . وتنتشر تحت السطح نفسه كثير من الكهوف والسراديب والأنهار السفلية التي لا يظهر لها بدايات ولا نهايات واضحة . والعامل الاساسي في تكوين كل هذه الظاهرات هو ذوبان الصخور الجيرية في المياه الجوفية ، وفي بعض المياه السطحية .

وتظهر في قاع بعض الحفر الوعائية الكبيرة بحيرات مائية صغيرة . ويحدث ذلك حيثما تكون هناك طبقة رسوبية غير نفاذة للماء تحت المنطقة . وقد يؤدي انهيار سقف بعض الكهوف السفلية إلى تكوين حفر وعائية جديدة أو تعميق وتوسيع الحفر الوعائية الموجودة فعلا . والحفر الوعائية هي الطرق الرئيسية لوصول المياه السطحية إلى الاجزاء الداخلية من طبقات الصخور ومن ثم تنحدر في السراديب والانهار السفلية نحو الفتحات التي تتدفق عندها بشكل عيون .

والمناطق التي توجد فيها السهول الكارستية كثيرة في العالم ، وأشهرها هي المنطقة التي درست فيها الظاهرات الكارستية لأول مرة ، والتي أخذت منها اسمها وهي منطقة « كارست » على ساحل البحر الادرياتي في يوغوسلافيا، وتوجد غيرها مناطق أخرى كثيرة من نفس النوع في العالم ، ومن بينها في الوطن العربي بعض أجزاء جبال لبنان ، وبعض أجزاء شمال برقة في ليبيا وبعض أجزاء المغرب العربي . كما توجد سهول من نفس النوع في أقصى جنوب إيطاليا (في منطقة كعب الحذاء) وهي عبارة عن سهول صغيرة وسط الجبال ، وفي أمريكا الشمالية توجد أمثلة لهذه السهول حول خليج المكسيك وفي وسط شبه جزيرة فلوريدا وغيرها .

الفصل الحادي والعشرون

الهضاب والجبال

أولا — الهضاب PLATEAUS

ظروف نشأتها:

إن أهم ما يميز الهضاب عن السهول هو شدة انحدار جوانبها التي تظهر أحيانا بشكل حافات قائمة أو شديدة الانحدار . ويستوى في هذا أن تكون هذه الجوانب قد تكونت بفعل النحت النهري أو النحت البحري أو التصدع . كما تتميز عنها كذلك بشدة عمق وديانها وضيقها وشدة انحدار جوانبها حتى أن بعضها يظهر بشكل أخاديد وخوانق عميقة . ويرجع ذلك إلى نشاط الأنهار في حفر وديانها بسبب بعد مستوى القاعدة عن سطح الأرض . وقد كانت كثير من الهضاب عبارة عن سهول ، ولكنها ارتفعت وتقطع سطحها بواسطة وديان عميقة أو بواسطة التصدع فأخذت مظهر الهضاب .

ولكن هناك شروطا لابد من توفرها لتكون هذه الهضاب منها : (١) أن ترتفع المنطقة السهلية حتى يعلو مستوى سطحها عن مستوى القاعدة بقدر يكفي لتنشيط الأنهار في عمليات النحت الرأسي وتعميق الوديان . ويتوفر هذا الشرط غالبا في المناطق التي أصابتها حركات رفع حديثة ، والمناطق التي تراكمت فوقها غطاءات سميكة من اللافا . (٢) ألا تكون المنطقة قد وصلت إلى مرحلة النضج أو الشيخوخة حتى لا يكون سطحها الأصلي قد اختفى بفعل التعرية (٣) أن تكون صخور الطبقة السطحية للمنطقة شديدة الصلابة حتى تحمي الطبقات التي تحتها من عوامل التجوية والتآكل

وبما أن التعرية المائية هي التي تلعب الدور الأكبر في تقطيع المنطقة وتعريتها فان هضاب الأقاليم الرطبة تتآكل أسرع من هضاب الأقاليم الجافة وشبه الجافة ، ولهذا السبب فان أعظم هضاب العالم توجد في الوقت الحاضر في الأقاليم الجافة .

ومن المظاهر الفيزيوغرافية التي يكثر وجودها في الهضاب ، الأخاديد الضيقة الغائرة التي تنحدر جوانبها نحو القاع بشكل جدران قائمة أو جروف شديدة الانحدار . وقيعانها غالبا ضيقة بدرجة لا تسمح بمد الطرق فيها إن كانت جافة ، أو باستخدامها للملاحة إن كانت بها مياه جارية وتتقطع جوانب معظم الهضاب تقطيعا يكاد يكون منتظما بواسطة كثير من الوديان التي تنحدر عليها نحو السهول المجاورة . وفي المناطق الجافة تكون هذه الوديان قصيرة وينتهي كل منها بدلتا أرضية تتكون على السهل المجاور للجبل.

وعلى أساس العامل الرئيسي الذى أدى إلى ارتفاع الهضبة وظهور حافاتها . تنقسم الهضاب إلى عدة أنواع أهمها : ١) الهضاب الصدعية وهي التي تكونت حافاتها على امتداد صدوع في قشرة الأرض ، وأشهرها هي « الهورست » التي تتكون نتيجة لاندفاع الأرض بين صدعين متقابلين . و٢) هضاب اللافا (أو غطاءات اللافا) وهي التي تتكون من تراكم كميات ضخمة من اللافا التي خرجت من شقوق القشرة وغطت مساحات شاسعة بطبقات يزيد سمكها أحيانا عن ألف متر ، ٣) هضاب ساهمت الحركات التكتونية في رفعها .

وتوجد الهضاب بأنواعها المختلفة في كل القارات ، وخصوصا في الاقاليم الجافة وشبه الجافة ، ففي أمريكا الشمالية يوجد نطاق من الهضاب الرسوبية إلى الشرق مباشرة من جبال روكي ، وخصوصا في الولايات المتحدة ، وهذا

النطاق هو الذى يشتهر كذلك باسم السهول العظمى Great Plains ، لأنه كان فى الاصل عبارة عن سهول فيضية تكونت من دلتاوات الوديان التى كانت تنحدر على جوانب الجبال ، ثم تعرضت للارتفاع أثناء الحركات التى تعرضت لها جبال روكى نفسها ، ونتيجة لهذا الارتفاع تغيرت مهمة الانهار التى كونت الدلتاوات الارضية من عملية الارساب إلى عملية الحفر وأخذت تعمق وديانها فى هذه السهول التى أخذت مظهرا أقرب إلى مظهر الهضاب منه إلى مظهر السهول بسبب الارتفاع وكثرة الخوانق العميقة .

ومن الهضاب الاخرى المشهورة فى أمريكا الشمالية هضبة مسورى ، وهى هضبة عظيمة الاتساع تشغل سطح الولايات الواقعة إلى الشمال من نهر بلات Platte River ، وهضبة كولومبيا ، وهى هضبة من اللافا تشغل مساحة شاسعة فى ولايات وشنجتن وأوريجون وإيداهو ، ويزيد سمك اللافا التى كونتها عن ألف متر ، وقد غطت هذه اللافا كل مظاهر التضاريس الاصلية تحتها ، ولكن على الرغم من أن كل هذه المنطقة يطلق عليها لفظ هضبة إلا أن مناطق واسعة منها لا ينطبق عليها هذا الوصف ، لأنها تعرضت للانثناء فأصبحت أقرب إلى الجبال منها إلى الهضاب . والاخاديد التى تقطع هذه الهضبة أقل من الاخاديد التى تقطع الهضاب المعتادة ، لان سطحها لم يقطع بعد تقطيعا كاملا ، ومع ذلك فان نهر كولومبيا ونهر سنيك وروافدهما قطعت فيها وديانا شديدة العمق . وهناك أيضا هضبة كولورادو ، وهى هضبة مكونة من طبقات رسوبية سميكة ترتكز على قاعدة بلورية ، ويعتبر خانق كولورادو أهم ظاهرة فيزيوغرافية فيها ، وخصوصا فى قسمه الموجود فى أريزونا ، حيث يشتهر هنا باسم خانق كولورادو العظيم Grand Canyon of the Colorado River . وهو خانق ضيق جوانبه

قائمة . ونهر كولورادو نفسه نهـر ذو صرف داخلى وتغذيه عدة روافد لكل منها واد عميق يتناسب عمقه مع حجمه والهضبة نفسهـا مكونة من طبقات رسوبية يزيد سمكها عـلى ألف متر ، وهى ترتكز على قاعدة من صخور البلورية الصلبة . وقد استطاع نهر كولورادو أن يشق مجراه إلى عمق يبلغ فى بعض الأماكن ١٥٠٠ مـتر فى طبقات الصخور الرسوبية والصخور البلورية التى تحتها .

ولا توجد هضاب كثيرة فى المناطق الرطبة من أمريكا الشماليـة ، وهى ظاهرة تشترك فيها كل القارات تقريبا ، وأهم الهضاب الموجـودة فى هذه المناطق هى هضبة كمبرلاند Cumberland التى تشمـل بعض الأجزاء الغربية من الابلاش فى مقاطعتى كنتكى وتينيسى ، وبعض الاجزاء الصغـيرة فى شمال بنسلفانيا . وقد ساعد على بقاء هذه المناطق الهضبية أن الطبقة السطحية من صخورها شديدة الصلابة .

وفى أمريكا الجنوبية تتمثل الهضـاب فى منطقتين رئيسيتين هما جنوب البرازيل فى الشمال ، وباتاجونيا فى الجنوب . ففى البرازيل تتكون الهضاب الداخلية من صخور رملية وغطاءات من اللافا . وترتكز كلهـا على صخور بلورية قديمة ، وهى مقطعة بواسطة روافـد نهر الامازون ونهر البارانا . أما هضبة باتاجونيا فقد تكونت بنفس الطريقـة التى تكونت بها هضبة مـورى فى أمريكا الشمالية ، حيث أنها كانت فى بداية الامر سهلا رسوبيا مكونا من دلتاوات جافة فى حضيض الجبـال ، ثم تعرضت لحركة رفع كبيرة بسبب الحركات الارضية فتحولت مهمة الانهـار من الارساب إلى الحفر فقطعت لنفسها وديانا عميقة فى سطحها . وكانت هذه الانهار من

نشطة فى العصر الجليدى وما بعده بسبب المياه التى تدفقت فيها من الجليد المنصهر على جبال الانديز .

وبالنسبة لقارة إفريقيا فإن هذه القارة توصف أحيانا بأنها هضبة كبيرة لأن كل حوافها تقريبا قائمة أو شديدة الانحدار ، كما أن مساحات كبيرة من سطحها تنطبق عليها صفات الهضاب ، ومع ذلك فان المناطق التى ينطبق عليها هذا الوصف بدقة قليلة ، فمعظم سطح القارة مكون من سهول واسعة توجد بداخلها كتل جبلية مرتفعة . ويوجد فى وسط القارة نطاق من الهضاب التى تمثل اندفاعات من القاعدة الأركية القديمة ، ومن أكبرها هضبة البحيرات التى تنحصر بين فرعى الوادى الصدعى العظيم . وتعتبر هضبة الحبشة كذلك من أكبر الهضاب الإفريقية . وهى مكونة من طبقات سميكة من اللافا ، وتبرز على سطحها كثير من الكتل الجبلية المرتفعة التى تمثل هى الأخرى مخروطات بركانية كبيرة ، كما تقطعها كثير من الوديان النهرية العميقة . ويتكون معظم الصومال وكينيا كذلك من مناطق هضبية يغلب على سطحها الاستواء رغم وجود بعض القمم البركانية العالية . ويمكننا أن نعتبر كل جنوب إفريقيا إلى الجنوب من حوض الكنغو هضبة كبيرة ماعدا السلاسل الجبلية التى تتكون منها جبال دراكنزبرج فى الشرق ، والسهول الساحلية المنخفضة المجاورة للمحيطين الهندى والاطلسى . وفى أقصى الشمال توجد هضبة الشطوط بين سلاسل جبال أطلس التل فى الشمال وأطلس الصحراء فى الجنوب .

وفى آسيا توجد عدة هضاب منها هضاب صدعية شاسعة أهمها هضبة الدكن ، التى نشأت نتيجة لتصدع قارة جندوانا القديمة ، وهضبة التبت التى نشأت بسبب نفس الحركات التى كونت جبال الهيمالايا فى الزمن الثالث الجيولوجى ، وهضبة آسيا الصغرى ، التى تكونت أثناء الحركات الالتوائية الكبرى التى حدثت فى الزمن الجيولوجى الثالث .

وتعتبر هضبة غرب استراليا كذلك هضبة صدعية شاسعة قديمة ، وترجع في نشأتها إلى الزمن الثاني عندما تصدعت جندوانالاند ، وانفصلت عنها استراليا وهضبة الدكن .

وفي أوروبا تعتبر هضبة أسبانيا أكبر هضاب القارة . وهي هضبة صدعية تعرضت لبعض الحركات الأرضية التي صاحبت الحركات التي كونت جبال الألب في الزمن الثالث ، وسطحها مقطع بواسطة كثير من الوديان النهرية . كما توجد في هذه القارة بعض الهضاب الصدعية من نوع « الهورست » وخصوصا في منطقة الفوج والغابة السوداء حول نهر الراين .

ثانيا — الجبال والتلال
MOUNTAINS and HILLS

مفهوم الجبل والتل : المقصود بالجبل هو المرتفع الذي يبرز فوق سطح الأرض لبعض مئات أو آلاف من الأمتار وتكون له جوانب شديدة الانحدار. ويشترك التل مع الجبل في البروز وشدة انحدار الجوانب ، ولكنه يكون عادة أقل منه ارتفاعا ، وقد لا يزيد ارتفاعه عن بضع عشرات من الأمتار ... ومع ذلك فان لفظ « جبل » كثيرا ما يطلق على بعض التلال . ويحدث ذلك بصفة خاصة في البلاد السهلية ، وتكون التسمية في هذه الحالة بمثابة خطأ شائع يمكن التجاوز عنه ، ويمكن اعتبار كلمة جبل في هذه الحالة جزءاً من الاسم نفسه ، وذلك بنفس الطريقة التي يستخدم بها لفظ « بحر » للدلالة على بعض الأنهار أو بعض البحيرات .

والمناطق الجبلية على هذا الأساس هي المناطق التي توجد بها جبال وتلال بارزة جوانبها شديدة الانحدار ، وهذا فرق أساسي بينها وبين السهول . ومع ذلك فان معظم الجبال الكبرى لا تزيد درجة انحدار جوانبها (وخصوصا

عند قممها) عن ٢٠٪ ، وذلك نتيجة لنشاط عوامل التجوية وعوامل التعرية .

وعند الكلام على الجبال والتلال تستخدم عادة بعض التعبيرات الشائعة مثل « سلسلة الجبال أو التلال Range of Mountains or Hills » ويقصد بها عدد من الجبال الممتدة على خط واحد والمعتاد هو أن تكون كل جبال السلسلة الواحدة متجانسة فى أشكالها وعمرها وتركيبها الجيولوجى . وقد يستخدم تعبير مجموعة جبلية Group للدلالة على مجموعة من القمم والحافات المتقاربة فى أحجامها ولا يشترط أن تكون مرتبة بنظام معين ، ولكنها تكون غالبا موزعة فى منطقة دائرية تقريبا .

ويطلق تعبير « النظام الجبلى Mountain System » على سلاسل أو مجموعات الجبال المرتبطة ببعضها فى المظهر والموقع والتركيب ، والمفصولة عن بعضها بوديان كبيرة وأحواض منخفضة ومثال ذلك نظام جبال روكى . وسنطلق عليها هنا تعبير « مجموعة سلاسل الجبال » . ويطلق تعبير كورديليرا Cordillera على عدة نطاقات أو عدة سلاسل جبلية كبيرة ، ولكن يلاحظ أن هذا اللفظ كان يستخدم من قبل للدلالة على أى سلسلة جبلية عظيمة الامتداد . ولكن هذا الاستخدام لم يعد يظهر بكثرة فى الوقت الحاضر .

أهمية الجبال : بخلاف السهول فان الجبال هى أقل مظاهر التضاريس صلاحية للتوسع الزراعى بسبب شدة انحداراتها وانجراف تربتها باستمرار ، ولئن وجدت بها بعض الأحواض التى تصلح للزراعة فانها تكون صغيرة ولا تصلح للانتاج على نطاق واسع ، كما أنها لا تسمح بقيام مراكز عمرانية كبيرة . وهى تعتبر فى نفس الوقت عوائق أمام المواصلات البرية المختلفة ، ومع ذلك فانها تساعد على وضع حدود سياسية واضحة ، وكثيرا ما تحتوى

على ثروات معدنية كبيرة ، كما يمكن الاستفادة منها كمنتجعات صيفية وأماكن لممارسة مختلف الرياضات ، والرحلات .

ونظراً لتعقد التضاريس في مناطق الجبال فإنها تضم عادة بيئات متباينة في أماكن متقاربة ، كما يتدرج المناخ على جوانبها من أسفل إلى أعلى ، لدرجة أنه قد يكون مداريا حارا على سفوحها وقطبيا على قممها .

نشأتها : أهم عامل من العوامل التي ساهمت في نشأة الجبال هي حركات الانثناء التي تعرضت لها قشرة الارض خلال العصور الجيولوجية المختلفة وأهمها الحركات التي حدثت في الزمن الجيولوجي الثالث . وقد سبق أن تكلمنا عن كل هذه الحركات ، وذكرنا الجبال التي تكونت بسببها [1] . وقد يلعب النشاط البركاني في ذلك دورا هاما في نشأة كثير من الجبال ، كما تتدخل عوامل التعرية في تشكيلها .

النطاقات الجبلية الكبرى :

إن أول نظرة على خريطة تضاريسية للعالم تدلنا على أن معظم الاقاليم الجبلية في العالم تمتد في نطاقات طولية ضخمة في كل القارات ، ولو أمعنا النظر في امتداداتها لوجدنا أن نطاقاتها تمتد بشكل متصل على طول سواحل المحيط الهادى كلها ثم تنحرف نحو الغرب عبر جنوب ووسط آسيا وغربها ثم تواصل امتدادها في جنوب أوروبا وشمال غرب إفريقيا حتى المحيط الاطلسي .

ولكن هذه النطاقات تتباين فيما بينها من حيث امتداد جبالها وارتفاعها ومدى تعقيدها ، ففي غرب الولايات المتحدة والمكسيك والاسكا نجد أن النظام الجبلي يشغل منطقة عظيمة الاتساع ، وتفصل سلاسله بعضها

(١) راجع الفصل العاشر .

عن بعض مساحات سهلية وهضاب متسعة ، بينما تقل هذه السهول والهضاب في القسم الواقع في غرب كندا وفي أمريكا الوسطى ، ويكون النطاق الجبلي فيها أقل عرضا منه في المناطق الأولى ، ولكن الارتفاع يكاد يكون واحدا في كل المناطق . وفي أمريكا الجنوبية يتميز هذا النطاق بأنه أضيق ولكنه أعلى وأكثر اتصالا منه في أمريكا الشمالية . ويندر أن يقل ارتفاع سلاسل جباله عن ٣٠٠٠ متر .

وفي أوراسيا يتشابه القسم الغربي من هذا النطاق الجبلي إلى حد ما مع النظام الجبلي في غرب الولايات المتحدة من حيث تباعد سلاسله ووجود أحواض نهرية وسهول متسعة بينها ، مثل حوض نهر البو وسهل المجر ، كما تقطعه كثير من الفتحات التي يسهل المرور عبرها ، مثل الفتحة التي يمر فيها نهر الرون في فرنسا نحو البحر المتوسط ، والفتحة التي يوجد فيها بوغازا الدردنيل والبسفور ، والتي تصل بين البحر الأسود والبحر المتوسط .

ويلاحظ أن سلاسل هذه الجبال تلتقي مع بعضها في نقطة واحدة في شمال غرب الهند ، وهي النقطة التي تشتهر باسم « عقدة البامير » ، ولكنها لا تلبث أن تعود للتفرع مرة أخرى نحو الشرق بحيث تنتشر في كل شرق آسيا ، بل وتمتد في الجزر الواقعة قرب الساحل الشرقي للقارة . وهذا هو أعرض أجزاء النطاقات الجبلية الكبرى في العالم ، وأكثرها تعقيدا ، ومن هنا تتفرع السلاسل الجبلية نحو الشمال الشرقي إلى بوغاز بيرنج وجزر ألوشيان والاسكا حيث تلتقي بالنطاق الجبلي في غرب أمريكا الشمالية ، كما تتفرع سلاسل أخرى نحو الجنوب الشرقي عبر الهند الصينية والملايو إلى الجزر الاندونيسية ومنها إلى الجنوب حيث تلتقي بالنطاق الجبلي في شرق استراليا ونيوزيلندة .

أما قارة إفريقيا فلا يوجد بها نظام جبلي خاص بها ، وكل ما يوجد بها هو فرع من النطاق الجبلي الأوراسي الذي يمر غرب البحر المتوسط وتتكون منه سلاسل جبال أطلس . وفيما عدا ذلك فإن جبال إفريقيا الأخرى موزعة في أماكن متفرقة . والنطاق الوحيد الذي يمتد لمسافة كبيرة هو نطاق الوادي الانكساري العظيم الذي يمتد في شرق القارة بين الشمال والجنوب ، ومع ذلك فإنه يختلف في مظهره وتركيبه وتاريخه الجيولوجي عن أي نطاق آخر من النطاقات الجبلية التي تكلمنا عنها .

ويتفق امتداد النطاقات الجبلية الكبرى التي سبق ذكرها مع المناطق التي مازالت معرضة لحدوث الزلازل والبراكين ، مما يدل على أنها ما زالت غير مستقرة تماما . وهي نفس المناطق التي تعرضت أكثر من غيرها للحركات الأرضية التي حدثت في الزمن الجيولوجي الثالث ، والتي اشتهرت باسم الحركات الألبية ، وكانت أهم نتائجها هي حدوث الالتواءات التي كونت هذه النطاقات الجبلية (١) .

وبالإضافة إلى هذه النطاقات فإن هناك نطاقات جبلية أخرى أقل منها امتدادا وارتفاعا . وقد نشأت هي الأخرى نتيجة لحركات تكتونية أدت إلى حدوث حركات انثنائية في قشرة الأرض ، ولكنها كانت أقدم بكثير من الحركات التي كونت النطاقات السابقة . فقد تكون أغلبها في الزمن الجيولوجي الأول نتيجة للحركات التي سبق أن شرحناها وهي الحركات الكاليدونية ثم الحركات الهرسينية . وقد فقدت هذه الجبال معظم ارتفاعاتها في الوقت الحاضر بسبب تعرضها لعوامل التعرية المتلاحقة خلال عشرات الملايين من السنين التي مرت منذ نشأتها حتى الآن . وعلى الرغم من

---

(١) راجع الفصل العاشر .

أن كثيرا من مناطقها قد أصابتها حركات رفع أخرى في أزمنة أحدث من الزمن الأول فإنها لم تكن كافية لإعادتها إلى ارتفاعاتها الأصلية . ومن أمثلة هذه الجبال جبال الأبلاش في شرق الولايات المتحدة وجبال اسكنديناوة ، وجبال الجزر البريطانية وجبال الأورال في أواسط الاتحاد السوفييتي .

الجبال البركانية وجبال الكتل الباطنية :

المقصود بهذه الجبال هو الجبال التي تتكون من المخروطات البركانية أو من كتل الباثوليث أو اللاكوليث التي ظهرت على السطح بسبب الحركات الارضية ، أو بسبب إزالة عوامل التعرية لما فوقها وما حولها من تكوينات رسوبية ، حيث أن ذلك يؤدى إلى ظهورها بشكل كتل جبلية أو قباب مختلفة الأحجام . وعندما تسقط عليها الأمطار فإن نظام الصرف الذى يتكون عليها بمرور الوقت يكون هو النظام المتشعع الذى تبدأ فيه كل الوديان من منطقة واحدة فى أعلى القبة ، ومنها تتوزع فى جميع الاتجاهات .

وبخلاف الجبال الالتوائية التى تتكون عموما [illegible] صخور رسوبية ، وخصوصا الصخور الجيرية ، فإن صخور الجبال البركانية (باستثناء البراكين الطينية) كلها صخور نارية ، وينطبق هذا كذلك على صخور الجبال التى نشأت من ظهور الباثوليث أو اللاكوليث ، غير أن جانبا كبيرا من صخورها يكون من الأنواع المتحولة بسبب الضغط والحرارة الشديدين اللذين تعرضت لها قبل ظهورها . وقد نشأت من ظهور كتل الباثوليث بالذات فى بعض المناطق نطاقات جبلية كبيرة من أمثلتها جبال البحر الاحمر فى مصر والسعودية وشبه جزيرة سيناء وبعض هضاب وسط إفريقيا .

وتتباين الجبال البركانية فى أعمارها تباينا كبيرا جدا ، فمنها ما نشأ نتيجة

لثورانات بركانية ترجع إلى أقدم العصور الجيولوجية ولم يعد لها أى أثر فى الوقت الحاضر ، حتى أن المخروطات التى نشأت بسببها قد فقدت معالمه . ومنها ما نشأ من ثورانات حديثة ومازالت معرضة للثوران فى أى وقت حتى الآن .
وقد سبق ان قسمنا البراكين على هـذا الأساس إلى براكين خامدة وهى التى انتهت تماما منذ وقت طويل ، وبراكين هادئة وهى التى انتهى ثورانهـا منذ عهد قريب . إلا أن احتمال ثورانها مازال قائما، ثم براكين نشطة وهى البراكين التى تبدو عليها مظاهر النشـاط فى الوقت الحاضر ، لكن من الممكن أن تثور فى أى لحظة .

وتوجد أغلب الجبال البركانية فى نفس النطاقات التى توجد فيها الجبال الالتوائية الحديثة ، وهى النطاقات الجبليـة الكبرى التى سبق الكلام عليهـا ، ولذلك فإنها تكثر على امتداد كل المرتفعات الممتدة حول المحيط الهادى فى الأمريكتين وآسيا والأوقيانوسية ، كما تكثر على امتداد النطاقات الجبليـة الكبرى عبر أواسط آسيا وجنوبها وغربها وفى جنوب أوروبا وشمال غرب إفريقيا ، كما تكثر أيضا فى منطقة الوادى الصدعى العظيم فى شرق إفريقيا ، وتنتشر فى كثير من الجزر المحيطية مثل جزر هاواى فى المحيط الهادى وجزر كنارى وبعض جزر البحر الكاريبى فى المحيط الاطلسى ، وجزيرة مدغشقر فى المحيط الهندى .

وتختلف المخروطات البركانية فى أشكالها على حسب نوع اللافا المكونة لها . وقد سبق أن ذكرنا أن مخروطات اللافا الحمضية تكون قائمة ، بينما تكون مخروطات اللافا القاعدية مفلطحـة . وتكلمنا كذلك على تآكل المخروطات البركانية بالتعرية وماينتج عن ذلك من مظاهر[1] فذكرنا أن فوهة

---

(١) راجع الفصل الثانى عشر .

الفصل الثاني والعشرون
البحيرات والمستنقعات

نشأة البحيرات :

بغض النظر عن البحيرات الصناعية التي تتكون أمام السدود مثل البحيرة التي كونها السد العالي في جنوب مصر وبحيرة ميد Mead التي كونها سد هوفر على نهر كلورادو في الولايات المتحدة فإن البحيرات تنشأ عادة في أحواض أو منخفضات طبيعية . وهي تتباين تباينا كبيرا فيما بينها في الاتساع والعمق والعمر ، فبينما لا يزيد قطر بعضها عن عدة أمتار فإن قطر بعضها الآخر قد يصل إلى مئات الكيلومترات . وبينما يكون بعضها عبارة عن بحار عميقة دائمة فان بعضها الآخر يكون فصليا ضحلا بحيث يمتلىء بالماء في موسم المطر ويجف في موسم الجفاف ، بل إن بعضها قد يجف نهائيا بسبب التبخر أو بسبب امتلائه بالرواسب ، أو بسبب مرور نهر في وسطه . ففي الحالة الأخيرة يؤدي انحدار النهر على الحافة السفلى للبحيرة إلى تخفيض هذه الحافة تدريجيا وإلى انصراف مياه البحيرة إلى مجرى النهر .

وليس من السهل حصر عدد الأحواض التي يمكن أن تتكون فيها البحيرات في كل العالم ، ولكن لا بد أنها تعد بالملايين . وعلى أي حال فان عددها ليس ثابتا بل يتعرض للتغير من يوم إلى آخر لأن عملية تكوين الأحواض واختفائها تعتبر من العمليات الطبيعية المستمرة .

ولدراسة البحيرات أهميات جغرافية واقتصادية متعددة مثل أهميتها كمصادر للمياه أو كمصادر لاستخراج الرواسب الملحية ذات القيمة الاقتصادية أو كمصادر للثروة السمكية، أو كمناطق للسياحة والترفية كما يهتم الجيولوجيون

بدراسة رواسب البحيرات وتطور شواطئها من أجل معرفة التغيرات المناخية والجيولوجية التي حدثت فى مناطقها فى العصور المختلفة .

وتنشأ الأحواض الطبيعية التي يمكن أن تتكون فيها البحيرات نتيجة لعوامل كثيرة ومتباينة لا يسهل حصرها ، ولكن من الممكن أن نذكر العوامل التي ساهمت فى تكوين الأنواع الشائعة منها كما يأتي :

١) انسداد وادى نهرى نتيجة لانهيار أرضي ، أو نتيجة لتراكم الرواسب التي يحملها إليه رافد جانبي ، أو نتيجة لحدوث حركة رفع فى جزء من قاعه أو لحدوث ثوران بركاني فى وسطه .

٢) تكوين كولديرا فى أعلى أحد البراكين نتيجة لاتساع فوهته ، ٣) النحت الجليدى أو المائى فى سطح الارض ٤) التجوية والتعرية الهوائية فى المناطق الصحراوية ، ٥) انهيار أسقف الكهوف فى المناطق الكارستية ٦) انقطاع إحدى الثنيات النهرية ، وتكوين بحيرة مقتطعة ٧) انسداد خليج بحرى بسبب تكون حاجز رسوبي فى مدخله .

وتكثر البحيرات بطبيعة الحال فى الاقاليم المطيرة ، حيث يظهر فى كثير من الأحيان عدد من البحيرات التي تتصل ببعضها على طول مجرى أحد الأنهار مثل البحيرات العظمى المرتبطة بنهر سانت لورنس ، والبحيرات المتصلة بنهر النيل عن طريق نيل البرت .

أما الاقاليم الجافة فمن الطبيعى أن تكون بحيراتها أقل عددا وأقل ماءاً . كما أن الكثير منها يمتلئ بالماء فى فصل المطر ثم يجف بالتدريج فى فصل الجفاف ، بل إن بعضها لا تتجمع فيه المياه إلا لبضعة أيام أو بضعة أسابيع من كل سنة . ويطلق على هذا النوع من البحيرات فى المناطق الجافة فى غرب الولايات المتحدة تعبير « بحيرات البلايا » والمقصود بكلمة « بلايا » هو المسطح الجاف

الذي يتخلف بعد تبخر كل مياه البحيرة ، ويكون هذا السطح في بعض الأحيان لامعاً ومماثلاً للبياض بسبب الأملاح التي ترسب فوقه، ولهذا يكون في أغلب الحالات مكونا من رواسب طينية مختلطة بالأملاح .

ويتباين التركيب الكيميائي لمياه البحيرات في الأقاليم الجافة من منطقة إلى أخرى حسب التركيب الصخري للمناطق التي تغذيها بالماء . ولذلك فإن مياه بعضها تحتوي على نسبة عالية من الأملاح التي أهمها كلوريد الصوديوم، بينما تكون مياه بعضها الآخر قلوية لكثرة ما بها من كربونات الصوديوم والبوتاسيوم، أو تكون بها مرارة لكثرة ما بها من أملاح الصوديوم والسلفات، أو تكون غنية بالبوراكس Borax وبعض الأملاح المشابهة له . وقد تكون بعض البحيرات غنية بالأملاح ذات القيمة الاقتصادية التي تترسب على قاعها بكميات تكفي أحيانا لاستغلالها استغلالا اقتصاديا ، مثل أملاح البوطاس والبوراكس والصودا والبرومين والليثيوم Lithium .

ويطلق تعبير « البحيرات المطيرة Pluvial lakes » على بحيرات الأقاليم الجافة التي ترجع نشأتها إلى عصر مطير سابق أو إلى تجمع مياه الجليد المنصهر في عصر الجليد أو في أعقابه وتوجد أمثلة لهذه البحيرات في صحاري شمال إفريقيا ووسط وغرب آسيا وبوليفيا وشيلي . وأكبرها هي البحيرة التي تخلف عنها بحر قزوين الحالي والبحيرة التي تخلف عنها البحر الميت . وكلاهما يدخل في عداد البحيرات على الرغم من التسمية التي اشتهرا بها .

المستنقعات

تعريفها وأصلها : المقصود بالمستنقع هو الأرض المشبعة بالماء والتي قد تبقى على سطحها بعض المياه التي تزيد عما تحتاجه للتشبع . وهي تتكون في التي لا تتبخر مياهها أو تتسرب نحو الباطن بالسرعة التي تكفي لتجفيفها.

وهى تمثل مرحلة متوسطة بين الارض الجافة والبحيرات . وقد تمر المنطقة الواحدة خلال السنة الواحدة بالمراحل الثلاث ، فيكون سطحها جافا فى موسم الجفاف ثم تتحول إلى مستنقع فى أوائل موسم المطر ثم إلى بحيرة فى أواسطه وأواخره ، ثم تعود بعد ذلك إلى نفس الحالات بطريق عكسى . ولكن لا يشترط أن تمر المنطقة بكل هذه المراحل ، بل إنها قد تمر فى مرحلتين اثنتين منها فقط ، فلا تمر إلا فى مرحلتى الجفاف والمستنقع أو مرحلتى المستنقع والبحيرة .

والمعتاد هو أن تتكون المستنقعات فى الاراضى المنخفضة نسبيا ، ولكنها قد تتكون كذلك فى المناطق المستوية التى يكسوها غطاء نباتى كثيف . لأن جذور النباتات وعيدانها تؤدى إلى توزيع المياه وتشتيتها فلا تسمح بتكوين مجار مائية محددة ، ولذلك فان المياه تتجمع على السطح ولا تنصرف إلا بالتسرب فى التربة .

وتنتشر معظم المستنقعات فى أنواع خاصة من الاراضى وهى الاراضى الساحلية المنخفضة والسهول الرسوبية ، ومناطق التعرية الجليدية التى تتجمد أرضها باستمرار .

ففى المناطق الساحلية يتكون نوعان من المستنقعات ، النوع الاول منها هو مستنقعات المد Tidal Marshes ، وهى المستنقعات التى يغمرها الماء أثناء المد وينحسر عنها أثناء الجزر . وهى تشغل الاراضى المنخفضة المحيطة بمصبات الانهار ، وحول الألسنة الرسوبية الممتدة بجوار البحر ، وعلى الشواطىء المنخفضة للخلجان الضحلة الضيقة التى تمتلىء بماء المد وتجف بانحسارها . وتنمو فى هذه المستنقعات كثير من النباتات المائية التى تتحمل الملوحة . وهذه المستنقعات هى التى تشتهر كذلك باسم السبخات .

أما النوع الثانى فيحتوى على مياه عذبة ويشغل أحوانها ضحلة مفصولة عن البحر في السهول الساحلية المستوية . وتوجد أمثلة كثيرة لها على امتداد خليج المكسيك في جنوب الولايات المتحدة وعلى ساحل إيطاليا في جنوب غرب مدينة روما .

أما مستنقعات المناطق الرسوبية فتوجد بكثرة في السهول الفيضية والدلتاوات المنبسطة، حيث تتجمع المياه في القنوات المتروكة وخلف الجسور الطبيعية ، أو تبقى على سطح الارض بسبب وجود كثير من النباتات الطبيعية التى تشتتها على السطح وتحول دون جريانها .

أما مستنقعات التعرية الجليدية فتوجد فى الأحواض الكثيرة التى تنتشر بأحجام متباينة فى المناطق التى زحف عليها الجليد خلال العصور الجليدية ، وهى تعد بالملايين ، ويشغل بعضها أحواضا نحتها الجليد ، ويشغل الآخر مناطق محصورة بين الرواسب الجليدية .

أما مستنقعات الاراضى المتجمدة ، فتوجد فى بعض الاقاليم الباردة التى تظل تربتها السفلية دائمة التجمد Permafrost ، فإذا ما انصهرت التربة السطحية وانصهرت الثلوج المتروكة فوقها، فان المياه لاتستطيع أن تتسرب إلى أسفل، كما أنها لا تستطيع أن تنصرف بالجريان إذا كانت الارض سهلية منبسطة فتتجمع على السطح وتتكون منها مستنقعات يكون أغلبها غنيا بالطحالب والاعشاب والحشائش التى تتحمل شدة البرودة .

رواسب المستنقعات : تحتوى الرواسب التى تتراكم فى المستنقعات على نسبة كبيرة من المواد العضوية مثل البيت ، الذى يتكون من المواد النباتية المتحللة تحللا جزئيا . وهو يستخدم بعد جفافه كنوع ردىء من الوقود فى حالة عدم توفر الفحم أو البترول . ويعتبر البيت فى الواقع مرحلة من المراحل الأولى

لتكون الفحم . وعلى الرغم من أن طاقته الحرارية محدودة فانه ذو قيمة اقتصادية كبيرة في بعض المناطق . وبجانب هذه المواد العضوية فان رواسب المستنقعات تحتوى كذلك على كثير من المواد غير العضوية مثل الصلصال والطمى . ونظرا لأنها تكون عادة موجودة فى أراض مستوية فانها تكون خالية من الرواسب الخشنة التى تنقلها المياه الجارية .

تصريف مياهها واستخدام أراضيها وكما هى الحال بالنسبة للبحيرات فان المستنقعات لا تلبث أن تجف بانصراف مياهها إلى الأنهار ، كما أنها تجفف صناعيا فى كثير من المناطق لاستخدام أراضيها لأغراض مختلفة . ويكون تجفيفها عادة بشق المصارف فى وسطها لتصريف مياهها إلى البحر أو إلى أقرب نهر . ونظرا لأن تربتها تكون غالبا غنية بالمواد الدبالية Humus والمواد الصلصالية والطينية فانها تكون بعد اصلاحها عظيمة الخصوبة . وتستخدم فى الوقت الحاضر المصارف المغطاة لتصريف المياه من المستنقعات لتجنب كثير من المشاكل الصحية والاضرار الناتجة عن المصارف المكشوفة . وتكون المصارف المغطاة أحيانا عبارة عن مواسير ممتدة تحت الارض .

بحيرات الاقاليم المطيرة :

تظهر هذه البحيرات عادة بشكل مجموعات متصلة ببعضها بواسطة مجار تنصرف عن طريقها المياه من البحيرات الموجودة فى أعالى النهر إلى البحيرات التى تليها على طول المجرى نحو المصب ، وذلك لأن المياه التى تصل إلى هذه البحيرات تزيد كثيرا عن المياه التى تضيع منها بالتبخر . ومثال ذلك مجموعة البحيرات العظمى فى شمال الولايات المتحدة وجنوب كندا حيث تنصرف مياه كل بحيرة إلى البحيرة التى تليها بواسطة مجار صغيرة أقرب إلى البواغيز منها إلى الانهار حتى تنتهى إلى نهر سنت لورانس ، ومن ثم إلى المحيط

الاطلسى . وتبلغ كمية المياه المختزنة فى هـذه البحيرات حوالى ٦٠٠٠ ميل مكعب. وهذه المياه هى التى تنظم الجريان المستمر للماء فى نهر سنت لورنس وعلى شلالات نياجرا ، ويقدر أن هـذه المياه تكفى لأن يستمر تدفقها على شـلالات نياجرا بنفس معـدلها الحالى لمائة سنة قادمة حتى ولو لم تسقط أمطار جديدة .

وتوجد أمثلة أخرى كثيرة من هـذه السلاسل من البحيرات فى كثير من الاقاليم الممطرة فى مختلف جهات العالم ، ومنها البحيرات التى تغذى نهر النيل عن طريق نيل ألبرت وتشمل بحيرات إدوارد وجورج وألبرت .

المراجـــــع

أولا — المراجع العربية :

١ ـ ابراهيم رزقانة وآخرون ـ أسس الجغرافيا الطبيعية ـ القاهرة ـ ١٩٥٤

٢ ـ جودة حسنين جـــودة ـ معالم سطح الأرض ـ بيروت ـ ١٩٦٦

٣ ـ حسن أبو العينين ـ كـوكب الأرض ـ الاسـكندرية ـ ١٩٧٤

٤ ـ محمد ابراهيم فارس ومحمد يوسف حسن ـ الجيولوجيا العامة والتطبيقية ـ القاهرة ـ ١٩٦١

٥ ـ محمد صفي الدين أبو العز ـ قشرة الأرض ـ القاهـرة ـ ١٩٥٧

٦ ـ محمد متولي موسى ـ وجه الأرض ـ القاهرة ـ ١٩٤٥

ثانيا ـ المراجع الإفرنجيه

1 — R. B. Bunnet, " Physical Geograhy in Diagrams " London, 1971.

2 — C H Cotton, " The Physical Geography of the Oceans, New York, 1971.

3 — C A. Cotton, " Landscape ", Wellington, 1918.

4 — C. A. Cotton, " Geomorphology ", New York, 1947.

5 — O. D. Von Engeln, " Geomorphology ", New York, 1955

6 — E A. Fath, " Astoronomy " London, 1955.

7 — V C Finch and G. T. Trewartha " Physical Elemen Geography ", New York 1949.

8 — M. G. Gross, " Oceanography ", Ohio, 1969.

9 — A. Holmes, " Principles of Physical Geology ". London 1959.

10 — Sir James Jeans, " The Universe Around Us ", C.U.P. 1960.

11 N. K. Horrocks; " Physical Geography and Climatology " London, 1962.

12 L. C. King " Morpholosy of the Earth ", Edinburgh, 1962.

13 — C. A. M. King, " An Introduction to Oceanography " New York, 1963.

14 — P Lake, " Physical Geography " Cambridge, 1949.

15 — A. K Lobeck, "Geomorphology", New York, 1939.

16 — R. Longwell & R. Flint; " Introduction to Physical Geology " London, 2nded 19 2.

17 — E. de Martonne, "A Shorter Physical Geography", New York 1919.

18 — F. J Monkhonse, " Principles of Physical Geography ". London 1954.

19 — S, N, Monowitz, and D.B. Stone, Earth Science" New York, 1965.

20 - C. P Patton and Others, "Physical Géography" California, 19 0.

21 — R. F. Peel, ' Physical Geography " London, 1965.

22 — G. L Pickard " Discriptive Physical Geography of the Oceans " Oxford, 1963.

23 — J. E. Van Piper, " Man's Physical World" NewYork, 1962,

24 — H Robinson, ' Mo Phology and Landscape", London, 1973.

25 — W. M. Smart, "The Origin of the Earth," a Pelican Book, 1950.

26 — B. W. Sparks, " Geomorphology ", London 1967.

27 — A J. Steers, " The Unstable Earth ", London, 1961.

28 — A N. Strahler, " Physical Geography ", New York, 1969.

29 — . . . . , " The Earth Sciences ", New York, 1963.

30 — . . . . . . , " Introduction to Physical Geography ", New York, 1970.

31 — W. D. Thornbury, " Principles of Geomorphology ", New York 1962.

32 — F. L. Whipple, "Earth, Moon and Planet's", Harvard.U.P, 1968

33 — S. W. Wooldrige and R. B Morgan, "Physical Basis of Geography ", London 1960,

34 — P. G. Worcester, " A Textbook of Geomorphology ", New York, 1952